

Издаётся 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.
КОБЕЛЕВ Н. С.
КРИВОВ Ю. Н.
КУВШИНОВ Г. Е.
ЛУПИКОВ В. С.
МИЛЫХ В. И.
ОРЛОВ 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) 269-49-96
Факс (499) 269-52-97

E-mail:

elektrika-jurnal@yandex.ru

admin@nait.ru

sokol@nait.ru

www.nait.ru

© ООО «Наука и технологии»,
2011

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

Коровкина Н.П., Пустовалова Н.Н. Проблема выбора электрооборудования 2
Бакшаева Н.С. Исследование возможности совместного питания коммунально-бытовых потребителей с резкопеременными нагрузками характерных производств лесопильных цехов 4

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Харечко Ю.В. Анализ понятия «электрооборудование класса III». 10

МЕНЕДЖМЕНТ ЭЛЕКТРИКИ

Воропаева О.Д. Энергоаудит как составная часть учета издержек торгового предприятия 15

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИКИ

Павленко И.М., Степанов С.Ф. Расчет теплового режима кабелей, прокладываемых в полиэтиленовых трубах 17

НОВОЕ: ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ

Хошмухамедов И.М., Косарева-Володько О.В. Модель надежности контактора постоянного тока с учетом свойств его структуры 21
Черепанов В.В., Суворова И.А. Повышение эффективности транспортировки и распределения электрической энергии в кабельных линиях путем применения напряжения 20 кВ 27

ИНФОРМАЦИОННОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВА

Воробьев В.А. Объемные графы электрических нагрузок предприятий 31

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Шевченко В.В., Дубяга Р.В. Роль атомных электростанций в электроснабжении Украины и безопасность их эксплуатации 34
Кузнецов Е.М., Киселёв А.А. Разработка программного комплекса по расчету выработки электроэнергии ветроустановками различного типа 39

ГОТОВИМ СПЕЦИАЛИСТОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ

Милых В.И., Юхимчук В.Д. Кафедра электрических машин Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» 43

Роль атомных электростанций в электроснабжении Украины и безопасность их эксплуатации

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

Р.В. Дубяга, студент

НТУ «Харьковский политехнический институт», Украина

Введение

Невосполнимость и неравномерность распределения ископаемых энергоносителей по земному шару с каждым годом все больше беспокоит человечество и ставит вопрос о немедленном выявлении и практическом использовании возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для решения энергетических проблем. По оценкам Международного энергетического агентства (МЭА), первичные энергоносители или, как принято их называть, классические источники получения энергии составляют сегодня основу электроэнергетики всех стран. По данным МЭА, электростанции работают на таких видах первичных энергоносителей: на нефти — 38%, на природном газе — 20%, на угле — 27%, что составляет 85% от общей выработки энергоресурсов. Остальные 15% приходятся на АЭС и на электростанции, работающие от возобновляемых источников энергии. Повышению интереса к ВИЭ способствовало также подорожание с 70-х годов 20 века классических энергоносителей (особенно нефти), которое, в свою очередь, вызвало сокращение использования минеральных топливных ресурсов для выработки электроэнергии. Сегодня объем добычи и стоимость энергоносителей в значительной мере определяют тенденцию развития энергетики мира. Кроме того, тепловая и атомная энергетика вызывают значительные нарушения в окружающей природной среде, и увеличение масштабов производства электроэнергии на базе органического топлива может привести к глобальным экологическим последствиям для всей планеты.

Украина — энергонагруженная страна. Несмотря на резкий спад промышленного производства в постсоветские времена, потребление электроэнергии непрерывно растет, и вопрос энергетического обеспечения постоянно требует решения. Основой энергообеспечения Украины является атомная (52%) и тепловая энергетика (около 40—42%). Общая мощность 13 установленных энергоблоков на 4 АЭС Украины составляет

11 800 МВт, [1]. Но из-за неполного материального обеспечения ядерного энергетического комплекса Украины АЭС не имели средств для проведения серьезных ремонтных работ, достаточной закупки атомного «топлива» — ТВЭЛ-ов, создания баз для их сухого (или любого другого) способов хранения после срока их работы. В ближайшее время в Украине может возникнуть вопрос о достаточной степени безопасности АЭС, о технической возможности их эксплуатации. В настоящее время первые блоки АЭС требуют немедленной модернизации. По инженерно-экономическим оценкам [1], модернизация одного энергоблока АЭС оценивается в 130 млн долл. Начаты единичные работы, например, ремонт и модернизация проведены на 3 блоке Запорожской АЭС, но это не решает проблем атомной энергетики в целом.

Аналогично специалисты оценивают и состояние теплоэнергетики (ТЭС, ТЭЦ). На 104 энергетических блоках теплоэлектростанций, работающих на угле, 96% оборудования отработало проектный ресурс, а 73% превысили граничный ресурс. КПД станций снизился до 30—35%. ТЭС Украины не рассчитаны на работу при сжигании высокозольных низкокалорийных углей, которые добываются сегодня в Украине, поэтому приходится приобретать импортный уголь. Необходимый уголь есть в некоторых шахтах Донбасса, но многие шахты закрыты, а другие работают в режиме постоянных аварий, что также не способствует увеличению добычи угля и обеспечения им теплоэлектростанций. Кроме того, на украинских ТЭС отсутствуют газоочистные сооружения, что приводит к значительному выбросу в атмосферу оксидов азота, двуокиси серы и т.д. То есть и тепловая энергетика находится в состоянии, близком к технической катастрофе.

Указанные проблемы имеют общемировое значение. И поиск новых источников энергии также стал вопросом общемирового значения.

Результаты исследований

В сентябре 2011 г. президент Украины В.Ф. Янукович на заседании по вопросам ядер-

опасности (66 Сессия ООН, США, РК) начал свое выступление с того, что призвал о присоединении Украины к инициативе проведения стресс-тестов (проверка надежности в экстремальных условиях). Президент призвал создать в Украине национальный центр по исследованию рисков ядерной энергии, учитывая, что не существует опыта ликвидации последствий на пострадавших территориях, а также совершенствованию механизмов обмена информацией и повышению стандартов безопасности международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) [4].

Вопрос безопасности атомной энергетики вновь оказался в центре внимания мирового сообщества, что произошло, как в результате разрушительного землетрясения в Японии 11.03.2011 г. и последующего за ним цунами на АЭС «Фукусима-1», так и фиксирована серия аварий, вызванных отказом из строя системы охлаждения. На станции выявлен ряд утечек радиоактивных веществ, что заставило власти эвакуировать людей с территории реакторной станции. Позднее стала появляться информация об обнаружении в ряде районов радиоактивных элементов, в частности цезия и йода, в воздухе, морской воде, в продуктах. На эту ситуацию была следующая реакция:

Генеральный секретарь ООН Пан Ги Мун отметил, что обеспечение ядерной безопасности требует принятия дополнительных возможностей соответствующих организаций. В частности, МАГАТЭ призвано играть в этом центральную роль. Также необходима организация защиты ядерных объектов от возможных «преднамеренных» атак».

Генеральный директор МАГАТЭ Юкия Аmano отмечает, что компании, эксплуатирующие реакторы, должны обеспечить надежность ядерных объектов, а МАГАТЭ будет играть руководящую роль в обеспечении контроля по выполнению стандартов безопасности АЭС по всему миру. Руководство МАГАТЭ за потребовало у компаний, эксплуатирующих ядерные объекты, провести стресс-тесты на устойчивость к серьезным природным катаклизмам. Компания намерена добиться самого высокого уровня надежности атомных электростанций с учетом последствий аварии на АЭС Фукусима. Сделаны «первые шаги»: приняты экстренные меры, уже работает план, по которому нацио-

нальное управление по атомной энергетике выведено из подчинения министерства экономики, торговли и промышленности, чтобы избежать коммерциализации отрасли и сделать централизованным контроль ее безопасности. (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 после аварии на японской АЭС «Фукусима-1», на предприятиях *EDF*, в ядерной корпорации *Areva* и в других компаниях. 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 срок эксплуатации двух третей установленных реакторов, первоначально составлявший 40 лет, продлен еще на 20 лет. Но эксперты единодушны в том, что срок эксплуатации 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, обеспечение надежности технических систем. Перспективна оценка с помощью математиза-

ции 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, то есть 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 допущена ошибка конструктором, то на последующих стадиях (на стадии ОКР, технологических проработок, создания и испытаний) эти ошибки устраняются. Но если ошибка проявилась на этапе эксплуатации, человек остается один на один с проблемой, к которой добавляются проблемы «ста-

ния» оборудования. Невозможно устранить и 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 можно сделать, это во время планово-предупредительных ремонтов (ППР) проводить дополнительные работы, испытания, монтажные работы, внедрять инновации с целью уменьшения интервалов между ППР.

Но здесь появляется вторая проблема — экологическая. При эксплуатации оборудования важно иметь высокие экономические показатели, например, коэффициент использования установленной мощности, сокращение затрат на ремонтные материалы, то есть желательнее увеличивать сроки между ППР, может быть, даже за счет безопасности.

Третья причина заключается в том, что основной обслуживающий персонал — мужчины, ради экономической выгоды может быть снижено чувство самосохранения, развивается своеобразная «смелость», потеря границы разумного риска, что может привести к авариям типа Чернобыльской катастрофы.

Таким образом, преждевременно считать, что на этапе эксплуатации, обслуживания систем и оборудования АЭС персонал понимает необходимость требований безопасности в отсутствие риска. Этот процесс должен быть поддерживаемым, подкреплен не только и не столько ВАБ, сколько качеством ментальности «человеческого фактора». В этой связи в технологии обслуживания и ремонта, разрабатываемых ГАТЭ, особое внимание стали уделять 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 разумных действий.

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

целенаправленного функционирования любой системы управления при участии человека зависит от того, насколько безошибочно в конкретно 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 деятельности, какие условия среды приводят к ее снижению. 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 различных функциональных систем организма. Однако увеличение числа контролируемых функций не привело к решению проблемы 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 индивидуальной нормы от нее.

Согласно современным представлениям, в формировании ментальности человека, то есть в формировании умения грамотно оценивать ситуацию на всех этапах обслуживания оборудова-

ния АЭС, основную роль играют сформировавшиеся у персонала приоритеты. Для грамотной оценки проблемной ситуации, осознания связей между происходящими событиями необходимо учитывать информационные способности человеческого мозга, которые 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 использования этого критерия, то есть, что при разработке современных технологий

технического обслуживания и ремонта оборудования АЭС желательно использовать системный 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 т.д. 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 остановы 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 1. 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, Нови-сти, Окружающая среда. 22.09.2011.
5. Лемешко Б.Ю., Никулин М.С. Статистика ускоренных испытаний и ее применение в теории надежности, технике и медицине // Научная сессия НИЯУ МИФИ. 2011. Том 1. 225 с.
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993.