



ВЕСТНИК

Харьковского
Регионального
Института
Проблем
Общественного
Здравоохранения

ВІСНИК
Харківського
Регіонального
Інституту
Проблем
Громадської
Охорони
Здоров'я

BULLETIN of
Kharkiv
Regional
Institute of
Public
Health
Services

Харьковский Региональный Институт Проблем Общественного Здравоохранения

Код ЕГРПОУ 26419943.

Дата государственной регистрации: 01.08.2003.

Номер записи в ЕГРПОУ: 1 480 120 0000 001081.

Дата записи: 01.09.2004.

Вестник Харьковского Регионального Института Проблем Общественного Здравоохранения

Издается с 2004 года.

Год Номер

2004 - 1, 2

2005 - 1(3), 2(4), 3(5), 4(6), 5(7), 6(8)

2006 - 1(9), 2(10), 3(11), 4(12), 5(13), 6(14)

2007 - 1(15), 2(16), 3(17), 4(18), 5(19), 6(20)

2008 - 1(21), 2(22), 3(23), 4(24), 5(25), 6(26)

2009 - 1(27), 2(28), 3(29), 4(30), 5(31), 6(32)

2010 - 1(33), 2(34), 3(35), 4(36), 5(37), 6(38)

2011 - 1(39), 2(40), 3(41), 4(42), 5(43), 6(44)

2012 - 1(45), 2(46), 3(47), 4(48), 5(49), 6(50)

2013 - 1(51), 2(52), 3(53), 4(54), 5(55), 6(56)

2014 - 1(57), 2(58), 3(59), 4(60), 5(61), 6(62)

2015 - 1(63), 2(64), 3(65), 4(66), 5(67), 6(68)

2016 - 1(69), 2(70), 3(71), 4(72), 5(73), 6(74)

2017 - 1(75), 2(76), 3(77), 4(78), 5(79), 6(80)

2018 - 1(81), 2(82), 3(83), 4(84), **5(85)**

Распространяется по подписке, бесплатно.

Языки публикаций: русский, украинский, английский, немецкий, французский, испанский.

Подписано в печать: 31.10.2018.

Протокол № 5'2018/вестник.

Вісник Харківського Регіонального Інституту Проблем Громадської Охорони Здоров'я

Видається з 2004 року.

Розповсюджується безкоштовно.

Мови публікацій: російська, українська, англійська, німецька, французька, іспанська.

Bulletin of Kharkiv Regional Institute of Public Health Services

or

Bulletin of Kharkov Regional Institute of Public Health Services

Published since 2004.

Distributed free of charge.

Languages of publications: Russian, Ukrainian, English, German, French, Spanish.

Bulletin des Kharkov Regional Institute of Public Health Services

Seit 2004 veröffentlicht.

Kostenlos verteilt.

Veröffentlichungssprachen: Russisch, Ukrainisch, Englisch, Deutsch, Französisch, Spanisch.

НОВЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ. Безопасность АЭС Украины

Тематика: технические науки

УДК: 159.9; 62-7; 331.582:621.311.25

Шевченко В.В.

Национальный технический университет «ХПИ»,
к.т.н., доц., проф. кафедры электрических машин
Харьков, Украина, ORCID: [0000-0002-9557-9849](https://orcid.org/0000-0002-9557-9849)
050-407-84-54, e-mail: zurbagan8454@gmail.com

СООТНОШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО И ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В ВЫПОЛНЕНИИ ЗАДАЧИ БЕЗОПАСНОГО ПРОДЛЕНИЯ СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС УКРАИНЫ

Аннотация. Украина проводит работы по продлению сроков эксплуатации блоков АЭС с выполнением требований безопасности к ядерным объектам. Из-за экономического кризиса отработавшее срок эксплуатации электрооборудование (ЭО), включая турбогенераторы (ТГ), проходит модернизацию или частичную, а не полную, замену, что приводит к увеличению количества параметров контроля, к росту нагрузки на операторов систем управления и к необходимости дополнительных психологических оценок и изменения методов обучения.

Ключевые слова: инженерная психология, продление срока эксплуатации АЭС, ремонты по текущему состоянию, безопасность на АЭС, человеческий фактор

Принято в печать в журнал «Пути науки» №2 (<http://www.wayscience.com/vipusk-2/>)

Просим ссылаться как:

[Шевченко В.В. Соотношение технического и человеческого фактора в выполнении задачи безопасного продления сроков эксплуатации энергоблоков АЭС Украины. Принят для опубликования в журнал "Пути науки", 2018, №2. Препринт в: Вестник ХРПИПОЗ, 2018, 5(85), сс. 16-29. Под ред. Шевченко А.С.]

Shevchenko Valentina V.

National Technical University "KhPI",
Kharkov, Ukraine

Шевченко В.В.

Національний технічний університет «ХПІ»,
Харків, Україна

CORRELATION OF THE TECHNICAL AND HUMAN FACTOR IN IMPLEMENTATION OF SAFE EXTENSION OF SERVICE LIFETIME OF ENERGY BLOCKS OF NUCLEAR POWER PLANTS OF UKRAINE

Abstract. Ukraine is carrying out work to extend the lifetime of NPP units with the fulfillment of safety requirements for nuclear facilities. Due to the economic crisis, the used electrical equipment (EO), including the turbogenerators (TG), undergoes modernization or partial replacement instead of a full one, which leads to an increase in the number of control parameters, an increase in the burden on operators of control systems and the need for additional psychological assessments and changes in teaching methods.

СПІВВІДНОШЕННЯ ТЕХНІЧНОГО І ЛЮДСЬКОГО ФАКТОРА ПРИ ВИКОНАННІ БЕЗПЕЧНОГО ПРОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС УКРАЇНИ

Анотація. Україна проводить роботи з продовження термінів експлуатації блоків АЕС з виконанням вимог безпеки до ядерних об'єктів. Через економічну кризу відпрацьоване термін експлуатації електрообладнання (ЕО), включаючи турбогенератори (ТГ), проходить модернізацію або часткову, а не повну, заміну, що призводить до збільшення кількості параметрів контролю, до зростання навантаження на операторів систем управління і до необхідності додаткових психологічних оцінок і зміни методів навчання.

Keywords: *engineering psychology, prolongation of nuclear power plant lifetime, repairs to the current state, safety at nuclear power plants, human factor*

Ключові слова: *інженерна психологія, продовження терміну експлуатації АЕС, ремонти по поточному стану, безпека на АЕС, людський фактор*

Accepted for publication in the journal "WayScience" 2018, №2
(<http://www.wayscience.com/en/issue-2/>)

Прийнято до друку до журналу "Шляхи науки" 2018, №2
(<http://www.wayscience.com/vipusk-2/>)

Please cite as:

[Shevchenko Valentina V. Correlation of the technical and human factors in implementation of safe extension of service lifetime of energy blocks of nuclear power plants of Ukraine (rus.) Accepted for publication in the journal "WayScience", 2018, No2. Preprint in: Bulletin KRIPHS, 2018, 5 (85), pp. 16-29. Ed. Shevchenko Alexander S.]

Просимо посилатися як:

[Шевченко В.В. Співвідношення технічного і людського фактору у виконанні завдання безпечного продовження термінів експлуатації енергоблоків АЕС України (рос.) Прийнято до друку до журналу "Шляхи науки", 2018, №2. Препринт в: Вісник ХРІПГОЗ, 2018, 5 (85), сс. 16-29. Під ред. Шевченко А.С.]

1. Постановка проблемы

Потребление электроэнергии на планете постоянно возрастает, поэтому возрастает роль атомной энергетики, так 455 ядерных реакторов в 30-ти странах мира обеспечивают около 11% этой потребности, [1;2]. Каждая страна, использующая ядерные технологии, несет ответственность за мировую ядерную безопасность, определяемую инструкциями Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ). Нарушения правил безопасности и эксплуатации оборудования, ошибки персонала приводят к инцидентам и авариям, которые имеют долгосрочные экономические и экологические негативные последствия, [3]. Согласно данным МАГАТЭ, в ближайшие 40 лет специалисты ядерной энергетики планируют снизить риск тяжелых аварий не менее, чем на 3 порядка (с 10^{-6} до 10^{-9}); как указывают в документах, до уровня "ничтожно мал", [4]. Однако старение оборудования АЭС и продолжающийся мировой экономический кризис заставляет усомниться в подобных перспективах.

Анализ последних исследований

На нефтяные кризисы 1973-1974 гг. и 1979-1980 гг. многие европейские страны, Япония и США ответили ускоренным развитием ядерной энергетики, [5-7]. Украина, тогда еще в составе СССР, не стала исключением, несмотря на то, что СССР выиграл от этих кризисов, увеличив экспорт нефти. Курс на развитие атомной энергетики оказался полезен и при решении проблемы глобального потепления, так как при сжигании атомного топлива в атмосферу планеты не выбрасывается окись углерода. Однако аварии на АЭС, нарастающие проблемы хранения отработанного ядерного топлива (ОЯТ) и необходимость контроля за распространением ядерного оружия сдерживают развитие ядерной энергетики. Новый мировой экономический кризис, начавшийся в 2008 году, совпал с истечением проектного срока использования большинства блоков АЭС (25-30 лет). На полную замену устаревшего оборудования не хватает средств и, в условиях дефицита ресурсов, есть только один выход – повышение эффективности работы, как оборудования, так и обслуживающего персонала. Причем необходимо помнить, что все эти изменения должны быть проведены без ущерба для безопасности.

В настоящее время на 4-х украинских АЭС работает 15 энергоблоков (2 блока - на Хмельницкой АЭС (ХАЭС), 4 - на Ровненской АЭС (РАЭС), 3 - на Южно-Украинской АЭС (ЮУАЭС), 6 - на Запорожской АЭС (ЗАЭС)). «7-й блок» Запорожской АЭС является учебно-тренировочным центром (УТЦ)

для операторов энергоблоков АЭС Украины и некоторых стран бывшего СССР. Из-за экономического кризиса строительство одного блока на ЮУ АЭС и блока № 8 на ЗАЭС было приостановлено, но в настоящее время начаты работы по строительству еще 2-х энергоблоков на ХАЭС, [7].

ГП НАЭК «Энергоатом», осуществляющий управление всеми действующими блоками украинских АЭС, обеспечивает около 55 % (а по некоторым источникам, до 70 %, [4,5]) потребности Украины в электроэнергии. Увеличение относительного объема выработки электроэнергии на АЭС определяется не увеличением мощности генерирующего оборудования станций (ТГ), а тем, что с 2014 г. 6 крупных ТЭС Украины оказались в зоне военных действий, разрушены или заброшены, что снизило объем выработки электроэнергии на ТЭС. Вклад других энергоисточников (гидроэнергетика, получение энергии от возобновляемых источников (ВИЭ)) в национальную энергосистему незначителен. В весенне-осенний период гидростанции Украины (ГЭС и ГАЭС) вырабатывают, по оценке мощности установленных гидрогенераторов, около 9 % общего производства электроэнергии. А из-за особенностей работы национальной энергосистемы, необходимости поддержания баланса активной и реактивной мощности в электросетях многие гидрогенераторы работают со сниженным коэффициентом мощности ($\cos\phi$). Также значительно снижается вклад гидроэнергетики в зимний период. Выработка электроэнергии от ВИЭ в Украине оценивается в 1 % от общего объема. Поэтому основными источниками электроэнергии в стране остаются и в перспективе останутся АЭС, и их развитие – первоочередная задача отечественно электроэнергетики. В связи с гибридной войной с Российской Федерацией Украина прилагает усилия по уменьшению энергетической зависимости от страны-агрессора. В сфере атомной энергетики это касается постепенного перехода от российских тепловыделяющих сборок (ТВС) на ТВС производства Westinghouse, США.

Потребление электроэнергии в Украине характеризуется большими суточными и сезонными колебаниями («пики» и «провалы» энергопотребления), изменением типа основных потребителей электроэнергии, в частности, возрастанием роли бытового потребителя. Но основная причина повышения аварийности на электростанциях - износ ЭО, что может быть решено только за счет проведения частичных ремонтов, модернизации и изменения правил эксплуатации и контроля параметров в режиме «on-line».

Пик пусков АЭС в мире пришелся на период со второй половины 1960-х годов по начало 1980-х. К 2017 году 448 ядерных реакторов, работающих в мире, 47% были в эксплуатации в течение 30-40 лет, 17% - более 40 лет [8, с. 35; 9]. Старение реакторов продолжается на фоне мирового роста потребности в электроэнергии. И так как строительство новых блоков или хотя бы замена наиболее ответственных наименований оборудования невозможна из-за общемирового экономического кризиса, вопрос продления сроков эксплуатации блоков АЭС стал в мировом масштабе. Это решается путем проведения модернизации и частичной замены отдельных наименований оборудования с обязательным обеспечением соответствия международным стандартам безопасности, [11]. В разных странах решение ищут по-разному. Так, французская компания AREVA видит выход в развитии технологий, способных обеспечить 60-летние и более длительные сроки службы блоков. В Бельгии комиссия МАГАТЭ продлила срок эксплуатации двух блоков АЭС Doel до 50 лет, а комиссия по ядерному регулированию США (NRC) продлила сроки эксплуатации 78 из 99 блоков АЭС от 40 до 60 лет. В России срок службы 11 блоков с одноконтурными реакторами РМБК, такими же, какие работали Чернобыльской АЭС, продлили до 45 лет. В связи со старением установленного оборудования на АЭС, МАГАТЭ пересмотрело правила его долгосрочной эксплуатации, [10], и эти правила продолжают постоянно совершенствоваться. Следует отметить, что не все страны пошли по пути повышения уровня безопасности блоков АЭС. Часть стран (например, Германия и Швейцария) пошли по пути полного отказа от атомной энергетики, некоторые страны отказались от строительства новых реакторов и поставили задачу постепенного закрытия

работающих. Однако такие решения, кроме усиления проблемы получения электроэнергии и необходимости поиска новых источников, требует значительных затрат на полный или отложенный демонтаж (безопасное хранение), на строительство саркофагов, [12].

Безопасность атомных объектов обычно пересматривается после больших аварий. Так, после аварии на АЭС «Фукусима-1» в 2011 г. руководство Евросоюза потребовало у компаний, эксплуатирующих ядерные объекты, провести стресс-тесты (проверка на надежность в экстремальных условиях) с имитацией серьезных природных катаклизмов (землетрясений и цунами), МАГАТЭ активизировало работу по повышению надежности ядерных объектов. Украина присоединилась к инициативе проводить стресс-тесты на АЭС и объявила о намерениях создать на своей территории международный центр по исследованию рисков использования ядерной энергии, учитывая, что в стране после аварии на Чернобыльской АЭС есть опыт ликвидации последствий аварий. Франция, в которой около 80% электроэнергии вырабатывается на 58 блоках АЭС, по результатам проведенных стресс-тестов предложила предпринять дополнительные меры безопасности, чтобы избежать «японского» сценария. Например, установить дополнительные автономные насосы для повышения надежности системы охлаждения реакторов, создать "Ядерные силы быстрого реагирования" 24-часовой готовности, производить «промежуточные корректировки» для поддержания необходимого уровня безопасности и т.д., [14, с. 9]

В целом требования к системам безопасности АЭС определяются:

- 1) нормативно-правовыми актами (ГОСТ-ы, нормы, правила, технические условия, инструкции и др.);
- 2) достаточным техническим обеспечением (качество проектирования, строительства, эксплуатации, вывода из эксплуатации, усовершенствование систем контроля, управления и защиты);
- 3) поддержанием профессионального уровня персонала (повышение квалификации и дисциплины, проведение своевременной аттестации, совершенствование системы допуска к работе, правильная психологическая оценка индивидуальных качеств), [13, с. 149];
- 4) накоплением и качественной обработкой информации об эксплуатации ядерных объектов, проведением работы по внедрению новых способов долговременного хранения отработанных радиоактивных отходов и ОЯТ.

Продление сроков эксплуатации стало приоритетным направлением деятельности и для украинского «Энергоатома», («Энергетическая стратегия Украины на период до 2035 года» [15,16]). Государственная инспекция ядерного регулирования Украины за период с 2010 до 2017 г. продлила сроки эксплуатации 7 энергоблоков:

- 1) на РАЭС: 1-го блока - до 2030 года; 2-го блока - до 2031 года;
- 2) на ЮУАЭС: 1-го блока - до 2023 г.; 2-го блока - до 2025 г.;
- 3) на ЗАЭС: 1-го блока - до 2025 г.; 2-го блока - до 2026 г.; 3-го блока – до 2027 г.

Ведутся работы по продлению срока эксплуатации 3-го блока РАЭС и 4-го блока ЗАЭС, [17].

Как уже было отмечено, для Украины уменьшение зависимости экономики от нефти и газа приобрело особое значение после начала войны с Российской Федерацией в 2014 году. Выходом могло бы стать полное самообеспечение электроэнергией за счет работы собственных АЭС. Однако и пойти по такому пути Украине мешают: 1) договоренности о нераспространении ядерного оружия, включая позицию стран G7 с запретом Украине иметь самостоятельную атомную энергетику и замкнутый ядерный топливный цикл [18, с. 169]; 2) груз наследия аварии на Чернобыльской АЭС; 3) экономический кризис и коррупция.

Несмотря на то, что Украина обладает большими разведанными месторождениями урана, которых хватило бы для обеспечения потребностей собственных АЭС на 100 лет [18, с. 173, 19], Украина вынуждена использовать ядерное топливо, завозимое из Российской Федерации, с постепенным переходом на более дорогие (на 25%) и требующие адаптации под работающие украинские АЭС ТВС производства Westinghouse (США). Первый опыт использования ТВС производства Westinghouse получен на 3-м энергоблоке ЮУАЭС, [19]. Идет работа по их использованию на других электростанциях. Подготовка реакторов под использование нового топлива вызывало много технических проблем и усилило нагрузку на операторов блоков.

Решение о продлении сроков эксплуатации блоков АЭС принимает Госатомрегулирование Украины совместно с ГП «Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (ГНТЦ ЯРБ) [20] на основании оценки их состояния и рекомендаций МАГАТЭ, которая планомерно пересматривает правила безопасности ядерных объектов каждые 10 лет и внепланово - после крупных аварий. Так после аварии на АЭС «Фукусима-1» при определении технического состояния ядерных объектов учитывают их сейсмостойкость, а после смены поставщика ТВС проводят оценку безопасного перехода на другой тип ядерного топлива.

Цель и задачи

Целью исследования является установление изменений в работе операторов на блоках АЭС при проведении технической модернизации и продлении срока эксплуатации ЭО станций, определение и способы контроля психологических качеств операторов и их направленного профессионального формирования в процессе обучения в ВУЗах.

Решение этих проблем требует междисциплинарного подхода: изменение объема и видов контроля работы ЭО и оценка возрастающей нагрузки на операторов. Это требует дополнительной работы инженерных психологов, изменений в обучении будущих специалистов. Показать, как эти изменения связаны между собой – одна из задач исследования.

При проведении исследований использованы данные об особенностях работы операторов авиационных систем, которые исследованы намного лучше, чем особенности работы операторов АЭС.

Изложение основного материала

Аварийные ситуации характеризуются комбинацией случайных событий, проявляющихся с разной частотой и силой (отказы оборудования, ошибки персонала, разгерметизация, выброс/утечка, разливы, испарение и/или рассеивание веществ, воспламенение, взрывы, интоксикация и т.д.), [21]. В аварийных ситуациях необходимо понимать соотношение вкладов «человеческих» и технических факторов, которые взаимно влияют друг друга. Действия персонала могут исправить ситуацию либо усугубить ее. Вторым вариантом возможен как при ошибочных ответных действиях человека, так и при невмешательстве в развивающуюся аварийную ситуацию. Обычно ошибочные действия человека приводят к более тяжелым последствиям. От выбора решения оператором зависит исход и последствия аварийной ситуации. К авариям приводят ошибки, вызванные отвлечением его внимания даже на 30-50 сек. Неверные действия возможны в случаях недостаточной квалификации операторов, получением ими неточной информации, особым психическим состоянием (например, появление «ложной тревоги» – реакции на сигнал, которого нет). Часть сигналов обрабатывается на бессознательном уровне, в этом случае принятие правильного решения зависит от наработанного автоматизма. Избыточный стресс, переутомление вызывают нарушение саморегуляции психических процессов, что повышает частоту ошибок.

Деструктивные реакции возможны на аварийные ситуации со стороны операторов со слабой нервной системой, определяемой, как напряженная, трусливая, тормозная, агрессивно-бесконтрольная, суетливая, ориентированная на мелочи в ущерб правильной оценке, [22]. Операторы с сильной нервной системой, напротив, демонстрируют волевое, конструктивно - преодолевающее поведение, благодаря чему возможно исправление ошибок "рассеянных", "легкомысленных", "слабовольных" коллег и "тугодумов", что позволяет остановить аварийную ситуацию, [23]. Подобные отношения объясняют, почему для коллектива операторов важно умение работать в команде (планирование, разделение функций, взаимопомощь, взаимоконтроль), [24], и недопустимы конфликтные взаимоотношения. Поведение в команде определяется присутствием интровертов и экстравертов: интроверты обычно идут на компромиссы или уходят в сторону, экстраверты более конструктивны, ищут практические решения. Сотрудничество таких типов личностей в коллективе помогает эффективнее регулировать аварийные ситуации, [21].

На общий исход аварийных ситуаций влияет количество и тяжесть ошибок. В среднем оператор блока АЭС совершает 1-2 ошибки на каждые 100 операций, [25]. К увеличению числа ошибок приводит: 1) несоответствие требований возможностям специалиста; 2) неопределенность возможных способов решения проблем; 3) однообразие и монотонность деятельности; 4) нервное напряжение от индивидуальной ответственности и работа при частых экстремальных ситуациях, [22]. Известно, что до 30 % аварийных остановок блоков АЭС происходят из-за ошибок персонала, [20]. Эти ошибки частично компенсируются возможностями защитных систем, компьютерных программ с элементами искусственного интеллекта, знаниями и умением пользоваться результатами анализа предыдущих аварий, отраженных в аварийных протоколах.

Но необходимо знать допустимую границу внедрения дополнительных контрольных систем. В этом отношении возможно проведение аналогии с ошибками при управлении самолетами гражданской авиации: за последние годы около 30% авиакатастроф произошли в результате избытка информации, поступающей пилотам от систем автоматики, от неправильного распределения функций между автоматикой (автопилотом) и ручным управлением. Известно, что если количество поступающих сигналов избыточно, человек начинает их игнорировать, мозг заполняет «пробелы» привычной информацией, которая отвечает нормальной (безаварийной) картине полета. Однако, когда речь идет об ошибках пилотов, в зоне риска оказываются десятки - сотни человек. В случае аварий на АЭС риску подвергаются сотни тысяч, а в долгосрочной перспективе – миллионы людей. С другой стороны, в основном по причине высокой публичности, вопросы последствий ошибок пилотов изучены лучше. Информация об ошибках пилотов публикуется в СМИ, показывается на ТВ, а так как услугами авиаперевозчиков пользуется очень много людей, то каждая авиакатастрофа вызывает большой общественный резонанс. Кроме того, практически каждый пассажир имеет индивидуальные средства связи, и очевидцы аварий мгновенно распространяют информацию об инцидентах. Информация о работе операторов АЭС огласке не подлежит из соображений безопасности, в том числе, чтобы не подсказывать потенциальным террористам слабые места в безопасности АЭС. И все же очевидна необходимость всестороннего изучения причин и методов предотвращения аварий на АЭС, а после крупных аварий – объективная информация о случившемся.

«Человеческий фактор» (несвоевременные и ошибочные решения в действиях человека-оператора) в разные годы определяет от 18,8 до 45 % аварийности и травматизма на энергообъектах Украины, [21, 26]. Количество возможных ошибок человека подлежит прогнозированию.

Вероятностный анализ безопасности (ВАБ) предполагает построение «дерева» причин отказов и аварийных последовательностей, включая ошибки персонала, [20]. В построении вероятностных

моделей принимает участие персонал, который и совершает ошибки, но если люди, работая коллективно, совершают ошибки, сумма которых не превышает 30%, они могут выносить суждения о критериях контроля нового оборудования, которые лягут в основу математической модели на основе ВАБ. Если количество ошибок отдельно взятого сотрудника превышает порог 30%, его мнение учитываться не должно. Наряду с ВАБ, при проектировании, строительстве и эксплуатации АЭС необходимо также обеспечить соблюдение стандартов ISO 9000. Соответствие стандарту – дополнительная защита от тяжелых аварий.

Алгоритм оценки «человеческого фактора», заложенный в ВАБ, можно использовать и с учетом мнения персонала с высокими показателями совершения ошибок. Например, при использовании метода анализа иерархий обслуживающий персонал каждой конкретной единицы оборудования на АЭС сам составляет перечень элементов, которые, по его мнению, в первую очередь определяют безопасность его работы, [26]. Эти оценки алгебраически суммируются и преобразуются в количественные показатели согласованности и уверенности. Если эти значения попадают в определенный интервал, то этот человек компетентен и готов к управлению и обслуживанию рассматриваемого оборудования. Таким путем переходят к построению индивидуальных профилей оценки пригодности человека для работы с данным оборудованием.

На эффективность деятельности операторов энергосистем влияют:

- 1) уровень образования, опыт и тренированность, длительность производственной нагрузки, соматическое здоровье (так, например, анализ сердечного ритма позволяет сделать прогноз поведения оператора в аварийных ситуациях, [27];
- 2) состояние, в частности, изношенность, обслуживаемого оборудования;
- 3) наличие мотивации, уровень целеустремленности и самоконтроля;
- 4) отношения с коллегами, уровень конфликтности, умение работать в команде;
- 5) индивидуальные психологические качества (сенсорные, мнемические, интеллектуальные и моторные). В частности, на качество работы влияние оказывают такие особенности характера: решительность, рассеянность, нервозность, уровень возможного формирования страха и недооценки опасности, снижение внимания, стрессоустойчивость (уравновешенность);
- 6) в аварийных ситуациях особенно значима достаточность (или нет) уровней теоретической подготовки, образования и практических навыков, [28].

Деятельность человека-оператора оценивается с помощью многочисленных тестов, построений профессиограмм и психограмм. Профессиограмма оценивает готовность к экстренным действиям, к принятию сложных решений и точности их выполнения; психограмма определяет когнитивные качества (внимательность, память, образность и аналитичность мышления), коммуникативные качества (культуру поведения и речи), эмоциональные качества (сдержанность, честность, сострадание, готовность к принятию решений), волевые качества (стрессоустойчивость, выносливость, сосредоточенность и т.д.), [21].

Для операторов АЭС необходим профессиональный отбор по данным сенсомоторных реакций, оценке внимания и скорости его переключения, стрессоустойчивости, устойчивости к утомлению, способности принимать решения в экстренных ситуациях, [28]. Помимо профессионального отбора, для оператора необходим постоянный контроль состояния здоровья, определяющего допуск к работе. Контролю подлежит уровень усталости, работа сердца, органов зрения и слуха, координация движения, отсутствие алкоголя и наркотиков в крови, отсутствие острых заболеваний и периода обострения хронических, повышение температуры тела выше субфебрильной, нарушение сознания, памяти, внимания, адекватности восприятия пространства, времени, собственной личности, отсутствие галлюцинаций, [29].

Подготовку операторов блоков АЭС необходимо целенаправленно начинать еще в ВУЗе. В рабочих учебных программах, вместе со специальными курсами: теоретические основы электротехники, ядерная физика, дисциплины, связанные с изучением конструкции и эксплуатации реактора, вопросами радиационной защиты, - должны быть обеспечены и сопутствующие дисциплины: материаловедение, термо- и гидро/газодинамика, необходимы знания о безопасном обращении с ядерными топливом и отходами, об особенностях работы оборудования при вводе в эксплуатацию и выводе, в период номинальной эксплуатации и в аварийных ситуациях.

За время обучения будущему оператору необходимо дать не только фундаментальные и специальные знания, но и повысить его психологическую готовность.

Обучение в ВУЗе значительно меняет мотивацию будущих операторов. Исследованиями установлено, что в начале обучения главными для студентов являются прагматичные мотивы (высокая заработная плата, достижения успеха в различных видах деятельности). У работающих операторов главными являются удовлетворение от хорошо выполненной работы, социальная значимость профессии, чувство долга и ответственности, целевые установки на точность, надежность и безошибочность действий, и только потом - заработная плата, [21]. В процессе обучения также необходимо вести работу по улучшению памяти, внимания, развивать эмоционально-волевые качества. Процесс необходимо контролировать с помощью объективных показателей (например, уровней IQ (intelligence quotient), EQ (emotional quotient) – уровень эмоционального интеллекта и др.).

Негативные факторы в высшем образовании Украины, которые необходимо учитывать при оценке перспектив формирования уровня чувства безопасности у студентов:

- 1) перманентное снижение качества высшего образования после распада СССР, [30];
- 2) падение престижа инженерных специальностей, влияющих на выбор специальности «оператор», [31].

Результатом описанных негативных явлений является дефицит инженерных и рабочих кадров, и одновременно недостаточное качество подготовки выпускников ВУЗов, [24], а одним из выходов – компетентностно-ориентированный подход к подготовке операторов-энергетиков, [32]. Для этого требуется достаточное количество собственных образовательных учреждений, либо возможность отправлять специалистов на обучение за рубеж. Поддержка образовательной инфраструктуры - обязанностью государства, но энергетическая отрасль может оказать поддержку профильным ВУЗам, как партнер государства. Без такой поддержки уровень знаний будет снижаться, а значит, будет снижаться и способность реагировать на новые и, в первую очередь, аварийные ситуации.

Система подготовки операторов является составной частью системы безопасности АЭС. Сотрудники украинских АЭС должны иметь высшее образование (бакалавры и магистры). Также для начальников смен на АЭС в Украине требуется опыт работы не менее 8 лет. Для получения соответствующей квалификации требуется дополнительное обучение в УТЦ, где проводится имитация производственных ситуаций, включая аварийные. (Как уже было сказано, в Украине - это «блок № 7» ЗАЭС). На повышение квалификации персонала АЭС разных стран затрачивают от 0,5 до 12% своего бюджета. Наименьшие расходы в Украине - 0,5%, наибольшие - во Франции (12%), в среднем по разным странам мира – около 10%, [32].

Украине необходимо не только ликвидировать дефицит инженерных кадров, но и сформировать постоянный резерв экспертов, как того требует МАГАТЭ [14, с. 5-6, 9-10].

Максимальный проектный срок эксплуатации электрооборудования АЭС установлен в пределах 25-30 лет. При продлении сроков эксплуатации с использованием математических моделей прогнозирования определяют остаточный ресурс оборудования до момента его перехода в предельное состояние. Для большинства наименований оборудования этот срок составляет 25 лет [33, с 27]. При этом на состояние оборудования и возможность его работы в указанные сроки оказывают влияние количество пусков и остановов, переходные процессы, рабочие температуры и вибрации, качество техобслуживания. Для оценки состояния оборудования используют методы диагностики, обеспечивающие своевременное и полное выявление дефектов (в том числе и на ранней стадии развития), а так же полноту и качество их устранения.

Наиболее значимое и дорогое оборудование АЭС – ТГ, ремонт которых не всегда возможен. Обязательную замену ТГ проводят, если показатели отказа элементов превысят 65 %. Если показатель находится в пределах 35-65% – проводят капитальные ремонты и/или модернизацию, выполняя замену некоторых основных элементов. При более низких показателях достаточным является проведение ремонтных работ по месту работы ТГ, на блоке.

Как было сказано ранее, экономический кризис заставил изменить подход к оценке состояния сложного ЭО, срок использования которого исчерпан: в мировой практике вместо замены практикуется продление сроков эксплуатации. При этом следует отметить, что в мировой практике наблюдается тенденция увеличения периодов между ремонтами, сокращения расходов на техническое обслуживание и ремонт.

Изношенное оборудование требует контроля по большему количеству критериев. В первую очередь для стареющего оборудования необходим дополнительный контроль вибрации наиболее нагруженных узлов, установка дополнительных датчиков с выводом их данных на пульт оператора в режиме «on-line», [34]. Так, для ТГ усиление вибрации приводит к разрушению обмоток статора и сердечника, что требует капитальных ремонтов или даже полной замены статора или всего генератора. Также для изношенного оборудования необходим постоянный контроль температуры активных и конструктивных частей статора, [35]. Т.е. необходима установка дополнительного комплекта термодатчиков. В результате нагрузка на оператора, контролирующего работу ТГ, значительно возрастает. Но согласно исследованиям с использованием теоретических моделей ВАБ, нагрузка на оператора ("управляемый размер" выделенных критических элементов в какой-либо системе АЭС) не может быть больше 5-9 событий. Поэтому при повышении количества контролируемых параметров обеспечение безопасности и надежности систем АЭС снижается, поступающая информация становится избыточной и трудноисчисляемой. Поэтому при выборе дополнительных каналов информации следует вести тщательный отбор, устанавливать самые информативные. В этом отношении наибольшую информацию несут данные вибродатчиков, которые в некоторой степени могут информировать и о событиях, которые обычно определяются датчиками измерения температуры. Модернизация, связанная с установкой новых датчиков, требует изменений в информационных и измерительных системах (ИУС), в программно-технических комплексах (ПТК). Эти системы и комплексы информируют, регистрируют, архивируют и/или передают численные значения физических величин, характеризующих нейтронно-физические и теплогидравлические параметры процессов, данные о состоянии конструкций, систем и компонентов технологического оборудования, подают сигналы команд защит, блокировок, автоматического управления, оповещения персонала о выходе контролируемых параметров за допустимые пределы, [36;37]. Параметры технологических процессов, данные о состоянии конструкций, систем и компонентов оборудования предпочтительно контролировать методами прямого измерения, а не вычислять по измеряемым значениям других параметров, т.е. по методам косвенных измерений, [37]. Поэтому желательно иметь как можно больше каналов измерения, так как при выходе из строя одного канала измерения данные другого канала могут

дать косвенные сведения о работе контролируемого оборудования (один из принципов обязательного резервирования каналов измерения и индикации для безопасности АЭС). Но, как было указано выше, продление сроков эксплуатации оборудования требует установки слишком большого количества дополнительных термо- и вибродатчиков с выводением их данных на пульт оператора, что почти вдвое увеличивает на него информационную нагрузку. Это может привести к игнорированию сигналов, ошибкам в принятии решений и появлению дополнительных аварийных ситуаций. Можно пойти по пути отказа от одновременной установки термо- и вибродатчиков в пользу установки только вибродатчиков. Но отказ или нарушение работы единственного канала измерения и информации должен однозначно пониматься персоналом и устраняться до момента потери объективного представления о состоянии работающей системы. Поэтому следует помнить, что без установки должного количества датчиков и планирования дополнительных ремонтов продление сроков эксплуатации будет происходить в ущерб безопасности.

При таких решениях необходимо минимизировать возможные ошибки, которые могут возникнуть при модернизации УИС и ПТК. Следует заметить, что технические ошибки легче исправимы, чем ошибки, связанные с «человеческим фактором», так как проходят через большее количество стадий контроля на этапах проектирования, изготовления и испытаний. Еще ряд проблем устраняется на этапе безаварийной эксплуатации. Например, если допущена ошибка конструктором (например, в расчетах при проектировании, в выборе материала), то она может быть устранена на стадиях ОКР, технологических проработок, создания и испытаний.

Более сложными являются проблемы, связанные со старением оборудования, особенно тяжелого, например, ТГ блоков АЭС. Ранее их предпочитали решать путем проведения планово-предупредительных ремонтов (ППР), а не путем срочных ремонтов после аварийных ситуаций. Однако и у ППР есть свои недостатки. Главный из них – возможность повреждения оборудования в процессе демонтажа, разборки и сборки. Также типичная проблема, которая приводит к авариям сложного оборудования – несоблюдение процедур ремонта, рекомендованных производителем, в том числе связанных с демонтажем и разборкой [39, с. 68-73].

Эффективность АЭС определяется количеством произведенной электроэнергии при минимальных эксплуатационных расходах, с обязательным обеспечением проектного уровня безопасности и надежности в соответствии с проектно-конструктивными и нормативными документами, а также требованиями заводов-изготовителей [37, с. 21]. В настоящее время в мировой практике для такого оборудования, вместо ППР, стали использовать практику проведения ремонтов по техническому состоянию (РТС) [38], что позволяет:

- сократить необоснованно частые технические мероприятия по ремонтам и техническому обслуживанию;
- оптимизировать объем ремонтных мероприятий при сохранении достаточного уровня безопасности;
- оптимизировать управление старением оборудования путем своевременной модернизации наиболее нагруженных узлов.

Такой подход уже реализуется НАЭК «Энергоатом», соответствует энергетической стратегии Украины и рекомендациями МАГАТЭ. Работы по изменению графиков проведения ремонтов на ядерных объектах Украины проводятся на базе методических разработок Аргоннской национальной лаборатории и Министерства энергетики США. Американский опыт показывает, что время ремонта оборудования на действующих энергоблоках, при правильной организации работ можно сократить от 35 до 20 дней, а также часть работ можно проводить без остановки оборудования, [38].

Выводы

1. Украина обеспечивает большую часть собственных потребностей в электрической энергии за счет ядерной энергетики. Ее развитию мешают груз наследия аварии на Чернобыльской АЭС, отсутствие собственного замкнутого ядерного цикла и кризисные явления в экономике. Вместе со всеми странами, эксплуатирующими АЭС, страна постоянно должна решать проблему стареющего оборудования, продления сроков эксплуатации энергоблоков с сохранением достаточного уровня безопасности, выполнять работы по модернизации или ремонту электрооборудования, т.к. экономически невозможна его замена на новое.
2. Срок эксплуатации можно продлевать только в том случае, если оборудование АЭС надежно сконструировано и правильно обслуживается.
3. На украинских ядерных объектах проводится работа по переходу от планово-предупредительных ремонтов к ремонтам по техническому состоянию.
4. К авариям на АЭС часто приводит «человеческий фактор», ошибки операторов. Надежность человека-оператора - величина не постоянная, и зависит от психологического и физиологического состояния, его подготовленности и тренированности. Именно «человеческий фактор» является последним звеном в создании аварийных ситуаций. В некоторой степени опасность аварийной ситуации можно снизить правильными действиями систем защиты на базе искусственного интеллекта, правильной оценкой и анализом аварийных протоколов, корректирующими действиями более опытных и хладнокровных коллег.
5. В условиях дефицита кадров высоки риски приема на работу профессионально непригодных операторов. Обучение операторов украинских АЭС должно начинаться в ВУЗах, затем проводится в УТЦ АЭС. Усовершенствованию подлежат знания, психологические установки и навыки. Требуются единые исчерпывающие инструкции для профессионального отбора и оценки текущей деятельности оператора, для оценки его психологической пригодности.
6. Требуется дальнейшее обсуждение и проведение научных исследований предложения использовать на изношенном электрооборудовании АЭС только дополнительных вибродатчиков, вместо установки дополнительного комплекта вибро- и термодатчиков. Это снизит количество поступающих к оператору сигналов, повысит результативность принимаемых им решений, уменьшит вероятность ошибочной интерпретации данных. Слишком большая информационная нагрузка на оператора может привести к игнорированию сигналов о превышении предельно-допустимых параметров, что приводит к авариям не ввиду халатности, а из-за срыва компенсации саморегулирующихся процессов памяти и внимания.

Список литературы:

1. Operational & Long-Term Shutdown Reactors by country (Sept. 2018) / International Atomic Energy Agency, Power Reactor Information System.
<https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>
2. 2017 Key World Energy Statistics / International Energy Agency, France, Paris. - 95 p.
3. Атомная энергия / Организация объединенных наций. Глобальные вопросы повестки дня. Адрес доступа: <http://www.un.org/ru/sections/issues-depth/atomic-energy/index.html>
4. Концепция эволюции атомных технологий (первая версия) / Атомная энергия 2.0.
<http://www.atomic-energy.ru/2.0>

5. Licklider, Roy (1988). «The Power of Oil: The Arab Oil Weapon and the Netherlands, the United Kingdom, Canada, Japan, and the United States». *International Studies Quarterly* 32 (2): 205–226. <https://doi.org/10.2307/2600627>
6. Daniel Yergin. *The Prize: The Epic Quest for Oil, Money, and Power*. USA: Simon & Schuster, 1991. - 912 p.
7. Шевченко В.В. Проблемы и основные направления развития электроэнергетики в Украине / В.В. Шевченко // Киев: Энергетика и электрификация. – 2007. - № 7(287). - С. 11–16.
8. Основная миссия ГП НАЭК «Энергоатом» - безопасное производство электроэнергии. http://www.energoatom.kiev.ua/r/about/about_nngc/
9. Operational Reactors by Age. *World Statistics / International Atomic Energy Agency. Power Reactor Information System*.
<https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalByAge.aspx>
10. Управление старением атомных электростанций. Нормы МАГАТЭ по безопасности для защиты людей и охраны окружающей среды. Руководство по безопасности № NS-G-2.12. - МАГАТЭ, Вена, 2014. - 54 с. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1373r_web.pdf
11. Кузьмин В.В. Роль человеческого фактора в обеспечении надежности работы АЭС в Украине / В.В. Кузьмин, В.В. Шевченко // Москва: Электрика. – 2012. - № 3. - С. 38-43.
12. Максим Гардус. Атомная пролонгация: сколько еще прослужат украинские реакторы / Форбс, 17 декабря 2015. <http://forbes.net.ua/nation/1407605-atomnaya-prolongaciya-skolko-eshche-prosluzhat-ukrainskie-reaktory>
13. Кочетков О.А., Панфилов А.П. Атомной промышленности 70 лет: вопросы радиационной защиты. Под общей ред. Л.А. Ильина, В.В. Уйба, А.С. Самойлова. Сборник статей, посвященных 70-летию Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный научный центр РФ – Москва: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2016. – С. 146-157.
14. Поддержание знаний, учебной работы и инфраструктуры для НИОКР в области ядерной безопасности. INSAG-16. Доклад международной консультативной группы по ядерной безопасности. МАГАТЭ. - Вена, 2015. – 15 с.
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1179r_web.pdf
15. Розпорядження № 605-р від 18 серпня 2017 р. «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року. Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» / Кабінет міністрів України.
<https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/250250456>
16. Розпорядження № 497-р від 06 червня 2018 р. Про затвердження плану заходів з реалізації етапу «Реформування енергетичного сектору (до 2020 року)» Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» / Кабінет міністрів України. <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/pro-zatverdzhennya-planu-zahodiv-z-realizaciyi-etapu-reformuvannya-energetichnogo-sektoru-do-2020-roku-energetichnoyi-strategiyi-ukrayini-na-period-do-2035-roku-bezpeka-energoefektivnist-konkurentospromozhnist>
17. Госатомрегулювання проведе публічне обговорення можливості продовження експлуатації енергоблока № 4 Запорізької АЕС (06.09.2018, укр.) / ГП НАЭК «Энергоатом». Деятельность, продление эксплуатации. <http://www.energoatom.kiev.ua/ru/actvts/extension/54453-gosatomregulirovaniya-provedet-publichnoe-obsudenie-vozmojnosti-prodleniya-ekspluatatsii-energobloka-zaporojskoyi-aes/>
18. Третьяк Л.И. Ядерная энергетика Украины как один из факторов энергетической безопасности Центрально-Восточной Европы / Л.И. Третьяк, А.В. Третьяк // Восток Европы. Гуманитарные и общественные науки. – 2016. - Том 2. - № 1. - С. 163-177.

19. Один из энергоблоков Южно-Украинской АЭС впервые полностью перешел на топливо Westinghouse / Энергоатом, новости, 19.07.2018.

<http://www.energoatom.kiev.ua/ru/press/nngc/54052-tretyi-millionnik-yuuaes-stal-pervym-energoblokom-v-ukraine-rabotayuschem-isklyuchitelno-na-toplive-westinghouse/>

20. Кузьмин В.В. Роль человеческого фактора в обеспечении надежности работы АЭС в Украине / В.В. Кузьмин, В.В. Шевченко // Москва: Электрика. – 2012. - №3. - С. 38-43.

21. Белоцерковская Ю.А. Психологическая структура деятельности операторов тепловых электростанций. Автореф. дисс. к. психол.н. по спец. 19.00.03 - психология труда, инженерная психология / Ю.А. Белоцерковская // Харьков, Украинская инженерно-педагогическая академия. – 2009. - 20 с.

22. Фесенко В.А. Психологические аспекты чрезвычайных ситуаций / В.А. Фесенко, В.В. Молчанов // Охрана труда и социальное страхование. – 2001. - № 6. - С. 26-30.

23. Муратов О.Э., Тихонов М.Н., 2008. Человеческий фактор на ядерных объектах / Информационное агентство «ПРОАтом».

<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=1555>

24. Шевченко В.В. Проблемы современного обучения и рекомендации по подготовке инженеров - преподавателей в Украине / В.В. Шевченко // Ростов-на-Дону: VI Международный научно-методический симпозиум. Современные проблемы многоуровневого образования. - 2011. - С. 3-9.

25. Кирюшкин А.А. Человек как источник потенциальной опасности / А.А. Кирюшкин // Безопасность жизнедеятельности. – 2002. - № 7. - С. 2-6.

26. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. / Т. Саати. - Москва: Радио и связь, 1993. - 278 с.

27. Машин В.А. Психофизиологические исследования эмоциональной лабильности / В.А. Машин, М.Н. Машина, И.А. Шмелева // Москва: Вопросы психологии. – 1997. - № 4. - С. 95-103.

28. Спільний Наказ Міністерства охорони здоров'я України та Державного комітету України по нагляду за охороною праці "Про затвердження Переліку робіт, де є потреба у професійному доборі" від 23.09.1994 р. № 263/121. <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0018-95>

29. Шевченко А.С. Контроль параметров состояния здоровья операторов АЭС, влияющий на допуск к работе / А.С. Шевченко // Харьков: Вестник Харьковского Регионального Института Проблем Общественного Здравоохранения. – 2014. - № 5(61). - С. 38-41.

30. Shevchenko Valentina V. The reform of the higher education of Ukraine in the conditions of the military-political crisis / Valentina V. Shevchenko // International Journal of Educational Development, 2018 (In Press). <https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2018.08.009>

31. Шевченко В.В. Особенности преподавания технических дисциплин при современной речевой подготовке студентов / В.В. Шевченко // Ростов-на-Дону: VIII Международный научно-методический симпозиум «Современные проблемы многоуровневого образования», 27 сентября - 4 октября 2013 г. - С. 206-214.

32. Шевченко В.В. Анализ и предложения по организации подготовки инженеров-преподавателей - электроэнергетиков в Украине / В.В. Шевченко, И.Я. Лизан // Москва: Электрика. – 2012. - № 1. - С. 42-51.

33. Гиря М.П. Прогнозирование остаточного ресурса электрооборудования АЭС / М.П. Гиря // Харьков: Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит". – 2010. - № 8. - С. 25-32.

34. Shevchenko V.V. Proposals for Improving the Technical State of Turbogenerators in Excess of the Service Life / V.V. Shevchenko // International Conference Modern electrical and energy systems (MEES-2017), 15-17 November 2017, Kremenchug, Ukraine. – P.p. 156-159. <https://doi.org/10.1109/mees.2017.8248876>

35. Шевченко В.В. Анализ электромагнитных вибрационных сил в элементах крепления статора турбогенератора к корпусу при ненормальных режимах работы / В.В. Шевченко, А.Н. Минко, А.В. Строкоус // Харьков: НТУ «ХПИ». - Электротехника и электромеханика. – 2018. - № 5 (In press).

36. Симонов А.А. Требования к характеристикам точности каналов информационных и управляющих систем, важных для безопасности атомных станций / А.А. Симонов, В.М. Гольдрин // Украинский метрологический журнал. – 2016. - №3. - С. 61-63.

37. Вимоги з ядерної та радіаційної безпеки до інформаційних та керуючих систем, важливих для безпеки атомних станцій. Затверджене Наказом Державної інспекції ядерного регулювання України № 140 від 22.07.2015 року / Верховна Рада України.

38. IAEA-TECDOC-1590. Application of Reliability Centered Maintenance to Optimize Operation and Maintenance in Nuclear Power Plants. - Vienna: IAEA, 2007. – 87 p.

39. Aircraft accident report: American Airlines, Inc. DC-10-10, N110AA. Chicago O'Hare International Airport Chicago, Illinois, May 25, 1979 (NTSB/AAR-79-17). NTSB (December 21, 1979). <http://libraryonline.erau.edu/online-full-text/ntsb/aircraft-accident-reports/AAR79-17.pdf>