

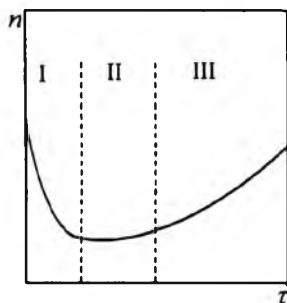
С Т А Т Ь И

УДК 621.311.25:621.039.004.75

УПРАВЛЕНИЕ СРОКОМ СЛУЖБЫ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

Бугаенко С.Е. (Международный центр ядерной безопасности Минатома России),
Аржаев А.И., Европин С.В. Савченко В.А. (ГУП Инженерный центр прочности
Минатома России)

Время и эксплуатация, как известно, приводят к снижению пользовательских свойств промышленных объектов вследствие старения материалов, деградации и морального старения элементов и объекта в целом. Это, в свою очередь, влечет снижение рентабельности и возможное снижение уровня безопасности. Из опыта изделий массового производства известна статистическая зависимость числа отказов от продолжительности эксплуатации изделия. Качественный характер такой зависимости приведен на рис. 1. Обычно условно выделяют три временных периода: I — период начальной эксплуатации, когда выявляются дефекты изготовления, наладки и т.п.; II — основной проектный период эксплуатации, когда изделие работает надежно; III — период дальнейшей эксплуатации, когда начинают заметно проявляться старение и деградация. Значительные успехи в увеличении продолжительности периода II и в снижении числа отказов на этапе III достигаются, как правило, в результате профилактического обслуживания, включающего мероприятия по снижению влияния старения и деградации. Подобная идеология применима и к такому сложному единичному объекту, каким является атомная станция. Желание владельца обеспечить бесперебойное производство электроэнергии и максимально продлить срок эксплуатации станции является естественным, так как именно эксплуатация обеспечивает прибыль и накопление средств на замещающие мощности.



Р и с. 1. Зависимость числа отказов n от продолжительности эксплуатации изделия

В атомно-энергетической отрасли обычно применяют три определения срока, связанного с ограничением длительности эксплуатации (службы): амортизационный, назначенный и лицензионный.

Амортизационный срок назначается исходя из действующих нормативов для расчета экономической эффективности сооружаемого энергоблока, он не определяет пределы работоспособности составляющих элементов, а выбирает из условий возмещения износа основных фондов.

Назначенный срок службы определяется исходя из прогнозов развития и темпов научно-технического прогресса и, как правило, превышает амортизационный срок, так как должен обеспечить накопление средств на вывод энергоблока из эксплуатации и ввод в действие замещающих мощностей.

Лицензионный срок указывается в разрешении на эксплуатацию. Он не связан с предельным сроком работоспособности блока, а означает лишь календарный период времени, по истечении которого безопасность эксплуатации блока должна быть подтверждена.

Таким образом, можно сделать несколько важных выводов:

как амортизационный, так и назначенный срок службы не является априори предельным для конкретного оборудования или конструкций и тем более для блока в целом;

назначенный срок службы определяется на начальной стадии этапа жизненного цикла АС (проектирование), исходя из принятых на тот момент нормативных требований, и не столько календарным временем, сколько конкретным состоянием оборудования энергоблока. Условия, заложенные в проекте и определяющие технико-экономические и временные аспекты проектного срока, могут существенно отличаться от реальных во время эксплуатации, более того, их можно улучшать за счет ослабления повреждающих факторов в результате технического обслуживания и модернизации и, следовательно, управлять сроком службы.

К началу 80-х годов ядерная энергетика достигла существенного развития, особенно в США, где задача разработки методологии продления срока эксплуатации АС была поставлена на государственный уровень: в начале 80-х годов в США разработали национальную исследовательскую программу по продлению срока службы АС и в последующие 10 лет ее реализовывали. Программа предусматривала изучение факторов, активно влияющих на ограничение срока службы материалов и оборудования, разработку методологии смягчения влияния повреждающих факторов, разработку стратегии и тактики реализации программы продления срока службы энергоблоков АС, оценку экономической эффективности мероприятий по продлению срока службы. Координацию и основное финансирование программы NUPLEX (Nuclear Plant Life Extension) осуществляла организация NUMARC, специально образованная для этого из представителей эксплуатирующих организаций [1].

Активные работы по этой проблеме с акцентом на механизмы старения и меры по снижению их влияния привели к появлению термина «управление старением». Вообще говоря, термин «управление» становится распространенным в лексиконе, связанном с ядерной энергетикой, так как подчеркивает регулируемость процесса и возможность активного воздействия со стороны эксплуатирующей организации.

Поскольку процессы старения могут приводить к снижению не только работоспособности, но и безопасности, методология и меры по поддержанию или даже повышению уровня безопасности АС в процессе ее эксплуатации составляют содержание «управления безопасностью».

Управление сроком службы атомных станций — это интегрированная практика обеспечения социально-экономической эффективности и безопасной эксплуатации. Поэтому применение технологии управления сроком службы предоставляет реальную возможность для ядерной энергетике не только сохранить, но и расширить свое присутствие на рынке производителей электроэнергии [2]. В последние годы только благодаря формированию такой концепции в разных странах становится возможным назначить проектный срок службы 60 лет и более. Япония уже заявила о возможности достижения срока службы энергоблока 120 лет [3].

Мировой опыт эксплуатации, аккумулированный в материалах МАГАТЭ, международных конференций и совещаний, показывает, что для каждого блока АС задача оптимизации технико-экономических показателей и уровня безопасности может решаться наиболее эффективно на основе не только анализа текущего состояния объекта, но и с учетом влияния на это состояние условий предшествующих и предстоящих этапов жизненного цикла объекта. Поэтому управление сроком службы в концептуальном плане рассматривается как процесс, охватывающий весь жизненный цикл АС, состоящий из трех основных этапов: «предэксплуатация», «эксплуатация», «послеэксплуатация». При этом этап «предэксплуатация» включает в себя стадии проектирования, сооружения и пусконаладочных работ, «эксплуатация» — стадии эксплуатации в течение проектного срока службы, подготовки к продолжению эксплуатации, продолжения эксплуатации (продление или обновление лицензии на эксплуатацию, кон-

версия или перепрофилирование деятельности), подготовки к выводу из эксплуатации, «послеэксплуатация» — стадию вывода из эксплуатации (хранение, демонтаж, утилизация, захоронение).

С экономической точки зрения управление сроком службы является одной из существенных частей общей методологии и практики оптимизации затрат в целях достижения максимальной прибыли при сохранении конкурентоспособности на рынке производителей электроэнергии и обеспечения безопасности.

С технической точки зрения управление сроком службы есть комплекс мероприятий по поддержанию или повышению безопасности АС, обеспечению работоспособности и долговечности основных элементов (систем) и блока в целом при минимизации эксплуатационных затрат. Условия подготовки и реализации управления сроком службы должны создаваться на всех этапах жизненного цикла энергоблока. Важнейшим условием успеха является учет взаимосвязей между перечисленными этапами, который достигается созданием баз данных, начиная с самых первых стадий этапов жизненного цикла.

С организационной точки зрения управление сроком службы есть система взаимодействия эксплуатирующей организации с предприятиями, вовлеченными в этот процесс и объединенными общей целью повышения культуры безопасности на АС, а также органами надзора и общественными организациями.

Таким образом, управление сроком службы АС опирается на систематическую интеграцию деятельности по проектированию, сооружению, эксплуатации, экономическому планированию, модернизации, реконструкции и др. с тем, чтобы максимально ускорить возврат инвестиций на возведение блока, поддерживать приемлемый уровень безопасности и оптимизировать, в частности, срок эксплуатации, используя варианты от досрочного вывода из эксплуатации до возобновления лицензии.

В последние 10 лет XX века продолжение эксплуатации привлекло к себе пристальное внимание специалистов. Об этом свидетельствует нарастание числа международных совещаний, симпозиумов и конференций, посвященных различным аспектам, включая взаимосвязь безопасности и продолжения эксплуатации, зависимость подходов к продолжению эксплуатации от уровня развития ядерной энергетики, связь путей ее реализации с национальным нормативно-правовым полем. На международных форумах просматривается общий подход, различающийся деталями в рамках национальных программ и заключающийся в том, что после завершения назначенного срока службы дальнейшая судьба блока АС решается с точки зрения наибольшей эффективности замещения электрогенерирующих мощностей. При этом если темп роста спроса на электроэнергию велик, то предпочтительным вариантом оказывается строительство нового блока, а старый должен быть выведен из эксплуатации. Если же темп роста спроса на электроэнергию мал, то следует продлить эксплуатацию блока и уже по истечении новой лицензии вывести из эксплуатации.

Продолжение эксплуатации блока АС имеет огромный экономический и энергосберегающий потенциал. Согласно оценкам затраты на продолжение эксплуатации блока АС в США на 20-летний период в начале 90-х годов составляли 100—300 млн дол., в то время как приведенная стоимость электроэнергии, выработанной на такой же АС в течение 20 лет, была в пределах 720—1300 млн дол. [4]. Исследования, проведенные на АЭС «Монтиселло» и «Сарри», показали принципиальную возможность продолжения эксплуатации. При этом дополнительная 10-летняя эксплуатация блока мощностью 1000 МВт дает чистую прибыль от 1 до 2,8 млрд дол. (в ценах 1990 г.), и поэтому продолжение эксплуатации может осуществляться за счет самфинансирования. Здесь важно отметить, что обычно в процессе эксплуатации осуществляются мероприятия по модернизации и реконструкции, и к моменту истечения назначенного срока блок существенно отличается от исходного состояния. Если издержки на продолжение эксплуатации достигают уровня трети затрат на замещение мощностей, то энергоблок становится нерентабельным и должен рассматриваться вариант

его вывода из эксплуатации, т.е. задачи продолжения и вывода из эксплуатации взаимосвязаны и их решение должно способствовать повышению уровня безопасности и конкурентоспособности ядерной энергетики [5].

В связи с этим представляет большой интерес анализ опыта, накопленного странами с развитой ядерной энергетикой в подходе к решению указанных проблем к концу XX века.

США, Франция, Великобритания, Германия по разным причинам не планируют строительство новых блоков и готовятся к процессу продолжения эксплуатации АС. В отличие от них Япония, Китай и некоторые другие страны юго-восточной Азии строят новые энергоблоки, что не мешает им обращать особое внимание на эффективность эксплуатации действующих блоков, и это с очевидностью ведет к значительным (более 50 лет) срокам их эксплуатации. В Канаде, Корее и России назначенный срок службы блока АС составляет 30 лет, и ведутся работы по подготовке к продолжению эксплуатации сверх этого срока. Аналогичная ситуация в Германии, Швеции и Испании, но назначенный срок службы составляет 40 лет. Франция, Великобритания и Япония не имеют ограничений на срок службы своих блоков, но с периодичностью в 10 лет должны подтверждать безопасность дальнейшей эксплуатации каждого блока.

В США по закону об атомной энергии от 1954 г. установлен лицензионный срок службы, равный 40 календарным годам, начало которого исчисляется с момента получения разрешения на строительство АС, с 1982 г. — с момента получения разрешения на эксплуатацию АС. В редакции Кода ASME 1995 г. предусматривается возможность подтверждения лицензии после 40 лет эксплуатации на 20 лет, т.е. до 60 лет с момента получения первого разрешения на эксплуатацию.

В тех случаях, когда продолжение эксплуатации энергоблока АС в качестве электрогенерирующей установки с прежними параметрами по каким-либо причинам нецелесообразно, но есть потребность в энергообеспечении или тепловой энергии и инфраструктура энергоблока (трубопроводы, некоторое оборудование, машинный зал, гидротехнические и вспомогательные сооружения и др.) может быть использована в новой замещающей прежний энергоблок установке (станция теплоснабжения, электростанция на органическом топливе и др.), возникает задача перепрофилирования деятельности такого блока.

Перепрофилирование (конверсия) блока АС включает процесс достижения состояния, при котором ядерная установка остается, но используется по-новому сверх своего назначенного срока службы. Блок изменяет свое назначение и технические параметры и может быть преобразован либо в атомную станцию теплоснабжения, либо в ядерно-химическую установку и др. Возможным в области конверсии направлением является использование наряду с ЯППУ парогазовых установок, которые позволяют ослабить повреждающие факторы (за счет снижения уровня мощности) и увеличить мощность блока (за счет парогазовых установок), сохранив экономическую эффективность за счет использования инфраструктуры АС. Случаи, когда реакторная установка замещается полностью парогазовой или другими источниками энергии (но не ядерными), как это произошло на АЭС «Мидланд» и «Форт-Сент-Врейн» (США), следует отнести все-таки к выводу реакторной установки из эксплуатации, а не энергоблока АС в целом, поскольку большая часть тепломеханического оборудования теплообменных контуров может продолжать эксплуатироваться. В то же время перепрофилирование с сохранением или установкой новой реакторной установки следует отнести к этапу продолжения эксплуатации энергоблока АС.

Реализация процесса управления сроком службы на этапах предэксплуатации и эксплуатации в период назначенного (лицензионного) срока является залогом успеха в обеспечении эффективной и безопасной эксплуатации энергоблоков до начала вывода из эксплуатации [6].

При выводе из эксплуатации различных блоков АС нет серьезных технических проблем, которые не позволили бы, пользуясь современной технологией, безопасно это сделать. Концептуальные исследования и проекты подтверждают данную точку зрения и находят отражение в технической информации по различным решениям, предлагаемым при выводе из эксплуатации ядерных установок, в многочисленных документах нормативного толка таких международных и национальных организаций, как МАГАТЭ, Агентство по атомной энергии ОЭСР и NRC США, а также в трудах большого числа международных конференций и симпозиумов.

Учитывая американский опыт вывода из эксплуатации ядерных установок военного-промышленного комплекса, МАГАТЭ и Агентство по атомной энергии ОЭСР выдвинули единую концепцию, включающую три стадии, определяемые лишь состоянием АС, оборудования и необходимостью надзора за объектом: останов и сохранение под наблюдением, частичные демонтаж и дезактивация, полный демонтаж и дезактивация — доведение до состояния «зеленой площадки» [7]. Указанная концепция была рекомендована для применения странам—членам МАГАТЭ. К концу XX в. методология вывода из эксплуатации предусматривала ту или иную по длительности выдержку, прежде чем начнется демонтаж ядерной установки. Такое состояние выдержки получило в разных странах следующие названия: сохранение под наблюдением — в России, безопасное сохранение (Safe Enclosure) — в Германии, безопасное хранилище (Safestore) — в Великобритании, безопасное хранение (SAFSTOR) — в США, статическое состояние (Static State) — в Канаде, безопасное сохранение с устройством для регулирования давления (Safe Enclosure with PED) — во Франции, пассивное безопасное сохранение (Passive Safe Enclosure) — в Италии [8]. Указанное перечисление приведено здесь с целью продемонстрировать терминологическую проблему, часто возникающую при обсуждении безопасности, хотя речь идет об одном и том же. В этом отношении для достижения взаимопонимания следует как можно быстрее разработать и опубликовать согласованный глоссарий по терминам и определениям в области управления сроком службы, включая вывод из эксплуатации, наподобие уже опубликованного глоссария Агентства по атомной энергии ОЭСР [9].

В некоторых работах МАГАТЭ [10, 11] упоминаются «приемлемый уровень безопасности», «приемлемые пределы», «критерии приемлемости». В результате представляет несомненный интерес определение «приемлемого уровня безопасности» как «показателя исправного состояния энергоблока АС, при котором обеспечивается соблюдение установленных нормативными документами пределов и условий безопасной эксплуатации и/или критериев безопасности». Наиболее существенным в приведенном определении является то, что безопасность определяется текущим техническим состоянием энергоблока и фактически таким образом устанавливается целевая функция управления сроком службы. Для российской практики соответствующие критерии безопасности или их диапазоны должны приниматься совместными решениями органов федерального управления и надзора за ядерной безопасностью с учетом отчислений на страхование от ядерного ущерба и специфики регионов размещения энергоблоков.

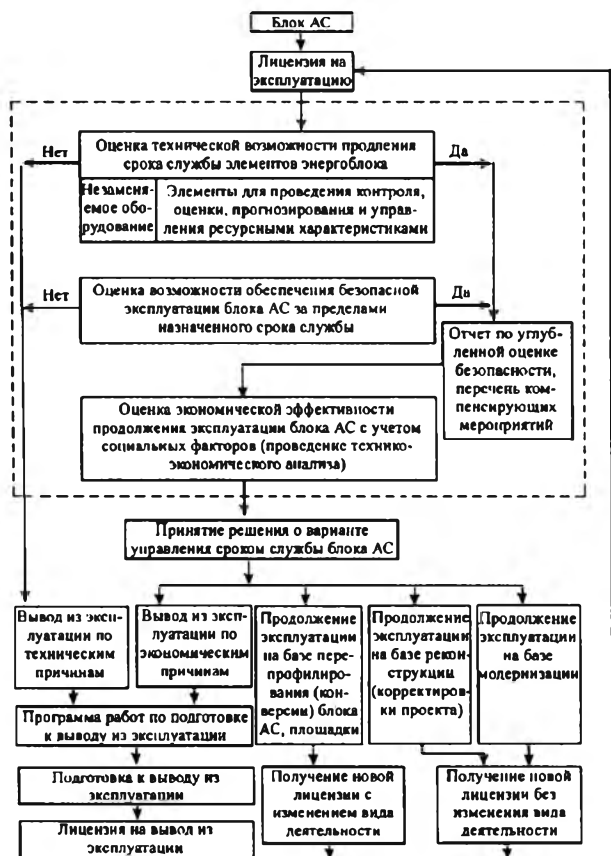
В нашей стране разработка элементов управления сроком службы началась в начале 90-х годов, полной концепции как официального документа, объединяющего в единый непрерывный процесс весь жизненный цикл от создания до вывода из эксплуатации объектов (в качестве базового концептуального подхода на стратегическую перспективу), — в 1998 г. [12, 13]. С точки зрения жизненного цикла АС эксплуатация является наиболее важным и содержательным этапом, оправдывающим все предшествующие и оплачивающим последующие этапы. Именно эксплуатация АС обеспечивает не только получение прибыли, но и средств на покрытие эксплуатационных расходов, поддержание безопасности, последующий вывод из эксплуатации АС, а также создание замещающих мощностей. Поэтому управление сроком службы АС рассматривается

как оптимизационный процесс, который включает комплекс мероприятий, призванных содействовать реализации целевой функции. В основу стратегии и программы управления сроком службы АС положена концепция, согласно которой управление сроком службы действующего блока АС включает два альтернативных направления: продолжение эксплуатации и вывод из эксплуатации. При этом очевидно, что управление сроком службы отдельного блока и многоблочной АС будет существенно отличаться. Указанное различие одного блока и многоблочной АС в целом определяет различные подходы к уровням оптимизации показателей: в первом случае — на уровне блока, во втором — на уровне площадки АС в целом. Такое различие сказывается и при переходе от уровня блока к уровню элементов, систем и конструкций (рис. 2 [7]).

Таким образом, на основе обследования технического состояния элементов, систем и конструкций блока сначала обосновывается техническая возможность продолжения эксплуатации с учетом установленного уровня безопасности за пределами назначенного срока службы, так называемых незаменимых элементов, которые для различных типов реакторов являются разными. Так, для ВВЭР (PWR, BWR) к критическим элементам относится корпус реактора, для РБМК (или некоторых GCR) — металлоконструкции реактора, графитовая кладка, строительные конструкции, для быстрых (FBR) — металлоконструкции и бак реактора. Фактически было установлено, что незаменимых элементов в технике нет, но экономически замена таких элементов может привести к существенным затратам, при которых дальнейшая эксплуатация блока станет нецелесообразной. Поэтому наряду с обеспечением установленного уровня безопасности, определением технической возможности продолжения эксплуатации необ-

ходим третий ключевой элемент в рамках управления сроком службы — экономическая эффективность дальнейшей эксплуатации блока, в том числе и сверх назначенного срока службы.

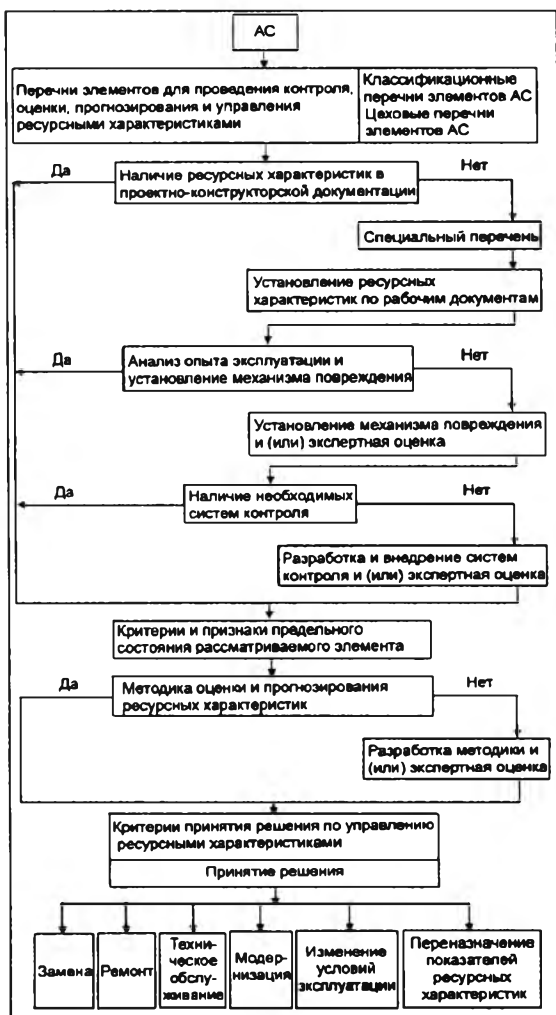
Схема проведения контроля, оценки, прогнозирования и управления ресурсными характеристиками элементов АС представлена на рис. 3. Она сводится к различным путям управления ресурсными характеристиками элементов, включает техническое обслуживание, ремонт, модернизацию, изменение (смягчение) условий эксплуатации и переназначение, а также замену. Управление ресурсными характеристиками в конечном счете позволяет добиться того, чтобы остаточные сроки службы оборудования поэлементно не могли бы быть меньше планируемого (назначаемого) срока эксплуатации энергоблока АС. Таким образом, управление сроком службы энергоблока АС в случае несоблюдения любого из рассмотренных ключевых моментов приводит к выводу из эксплуатации, а не продолжению.



Р и с. 2. Блок-схема принятия решения по варианту управления сроком службы АС (энергоблока АС)

Р и с. 3. Структурная схема управления ресурсными характеристиками элементов АС

Обеспечение условий для оптимальной эксплуатации энергоблока АС является одной из эквивалентных формулировок целевой функции управления сроком службы. Концепция предусматривает необходимость достижения условий по подготовке и реализации управления сроком службы блока АС на всех этапах жизненного цикла, а не только на стадии эксплуатации. Поэтому технология, являясь по существу компенсирующей, должна внедряться при разработке новых ядерных установок. Это приведет к росту затрат на стадии «предэксплуатация». Однако в дальнейшем затраты окупятся за счет увеличения эффективности эксплуатации на установленном уровне безопасности, что, в свою очередь, позволит увеличить длительность срока эксплуатации и за счет прибыли обеспечить дальнейшее финансирование высокого уровня культуры безопасности, исправного технического состояния оборудования и систем безопасности, а значит, и конкурентоспособность АС на энергетическом рынке.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Baron K. ASME's role in codes and standards development for plant life extension. — Mech. Engng, 1988, v. 110, № 7, p. 106—109.
2. Bugaenko S. PLIM conception for Russian NPPs. — In: Proc. Conf. PLIM+PLEX'99. Plant Life Management and Plant Life Extension in Nuclear Facilities, Madrid, Spain, 2—5 Nov., 1999, p. 39—50.
3. Japanese plant life extension: now reaching out beyond 60 toward 120 years? — Nuclear Europe Worldscan, 2000, № 11—12, p. 22.
4. Gorzelnik E. The dollars and sense of life extension. — Electrical World, 1987, v. 201, № 10, p. 57—62.
5. Arlotto G., Richardson J., Vora J. United States Nuclear Regulatory Commission research program to understand aging and manage its effects in nuclear power plants. — In: Proc. Intern. Symp. Safety Aspects Ageing and Maintenance Nuclear Power Plants, Vienna, 29 June — 3 July, 1987, Vienna, 1988, p. 3—21.
6. Савченко В.А. Некоторые концептуальные вопросы управления сроком службы российских энергоблоков АЭС. — Теплоэнергетика, 2000, № 5, с. 2—8.
7. Methodology and Technology of Decommissioning Nuclear Facilities. Techn. Rep. Sers. № 267, IAEA, Vienna, 1986. 97 p.
8. Safe Enclosure of Shutdown Nuclear Installations. Techn. Rep. Sers. № 375, IAEA, Vienna, 1995. 111 p.
9. Glossary of Nuclear Power Plant Ageing. NEA OECD, 1999, Paris (France). 130 p.
10. Об оценке безопасности действующих АЭС, построенных по ранним стандартам. Сер. отчетов по безопасности № 12. Вена, МАГАТЭ, 1998. 89 с.
11. Безопасность ядерной энергетики. Сер. изд. по безопасности № 75-INSAG-5. Вена, МАГАТЭ, 1994. 101 с.
12. Савченко В., Былкин Б. Некоторые проблемы завершения эксплуатации российских АЭС. — Мировая электроэнергетика, 1995, № 3, с. 41—43.
13. Савченко В.А. Управление сроком службы российских АЭС. — Теплоэнергетика, 2001, № 1, с. 10—14.

Поступила в Редакцию 20.08.01