

УДК 621.039.588

АНАЛИЗ НАРУШЕНИЙ В РАБОТЕ АЭС, СВЯЗАННЫХ СО СТАРЕНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ

В.В. Инюшев¹, А.В. Печерица¹, Л.М. Печерица²

¹Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, г. Киев

²Государственный научно-инженерный центр систем контроля и аварийного реагирования, г. Киев

Представлены результаты анализа нарушений в работе АЭС Украины, произошедших в 2008 – 2010 гг. и связанных со старением оборудования. Обозначены проблемы в управлении ресурсом оборудования, которые влияют на возникновение нарушений в работе АЭС, а также важность устранения недостатков управления ресурсом для безопасной эксплуатации АЭС.

Введение

Статья основана на данных, полученных в результате выполнения научно-исследовательской работы (НИР) «Оперативный и технологический анализ нарушений в работе АЭС Украины», проводимой Государственным научно-техническим центром по ядерной и радиационной безопасности [1 - 3]. НИР направлена на выполнение анализа нарушений в работе АЭС в целях их предотвращения, изучения и эффективного использования опыта эксплуатации энергоблоков АЭС, повышение уровня эксплуатационной безопасности. На основании оперативных сообщений, которые готовились в рамках НИР, а также отчетов о нарушениях в работе АЭС отобраны нарушения в работе АЭС, произошедшие из-за отказа оборудования, установленный срок эксплуатации которого подходит к завершению либо уже исчерпан. В результате проведенного анализа выявлены негативные тенденции, устранение которых может предотвратить увеличение количества нарушений в работе АЭС из-за отказов устаревшего оборудования.

В настоящее время в Украине в промышленной эксплуатации находятся 15 энергоблоков, 12 из которых введены в эксплуатацию в 1980 – 1989 гг. Установленный срок эксплуатации энергоблока АЭС составляет 30 лет и для большинства энергоблоков АЭС Украины заканчивается в 2010 – 2019 гг. В установленном порядке продлен сверх проектного срок эксплуатации энергоблоков № 1, 2 Ровенской АЭС (РАЭС), введенных в эксплуатацию в 1980 и 1981 гг. В декабре 2012 г. заканчивается срок эксплуатации энергоблока № 1 Южно-Украинской АЭС (ЮУ АЭС), а в декабре 2014 г. – энергоблока № 1 Запорожской АЭС (ЗАЭС).

В таких условиях безопасная эксплуатации энергоблоков АЭС напрямую зависит от эффективности системы управления старением оборудования, в частности, от разработки и внедрения технически и экономически целесообразных мероприятий, направленных на предупреждение отказов элементов энергоблока АЭС по причинам, вызванным процессами старения, происходящими в этих элементах.

На основании опыта выполнения НИР «Оперативный и технологический анализ нарушений в работе АЭС Украины» сделан вывод, что в настоящее время система управления ресурсом оборудования имеет ряд недостатков. Для более глубокого изуче-

ния этих недостатков и определения возможных способов их устранения проведен анализ нарушений в работе АЭС, произошедших в период 2008 - 2010 гг. По результатам анализа выполнен отбор нарушений в работе АЭС, связанных со старением, установлены их количество и доля в общем количестве нарушений в работе АЭС, закономерности и негативные тенденции, а также выявлены наиболее характерные недостатки в системе управления старением оборудования.

Постановка цели и задач

Целью настоящей работы является привлечение внимания к проблемам управления ресурсом оборудования и определению возможных способов их устранения.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- выполнить обзор результатов статистической оценки нарушений в работе АЭС;
- провести анализ непосредственных причин возникновения нарушений;
- выявить тенденции.

Обзор результатов статистической оценки нарушений в работе АЭС

Один из разделов НИР «Оперативный и технологический анализ нарушений в работе АЭС» посвящен статистической оценке потока нарушений в работе АЭС. Статистическая оценка проводится в целях изучения различных статистических данных по нарушениям в работе АЭС, их обобщения и использования для количественной оценки нарушений в работе АЭС по интересующим аспектам. Накопление и систематизация статистических данных дает возможность выявить неблагоприятные тенденции относительно причин возникновения нарушений и других важных факторов, влияющих на их возникновение.

В течение всего периода эксплуатации нарушения в работе АЭС, происходящие на энергоблоках, регулярно расследуются, анализируются в целях предотвращения их повторения, а также для извлечения позитивных уроков из опыта эксплуатации. В соответствии с [4] нарушение в работе АЭС – это происшествие или авария с детально определенными в этом документе последствиями. Аномальное событие, которое привело к нарушению, – это отклонение от нормального режима эксплуатации. Оно может быть вызвано отказом оборудования, ошибкой персонала или недостатками процедуры.

Приведенная в НИР [1 – 3] статистическая оценка показывает, что основная часть аномальных событий возникает из-за отказов оборудования. Диаграмма распределения аномальных событий с учетом характера их возникновения (отказ оборудования, ошибка персонала, недостаток процедуры) в 2008 – 2010 гг. приведена на рис. 1.

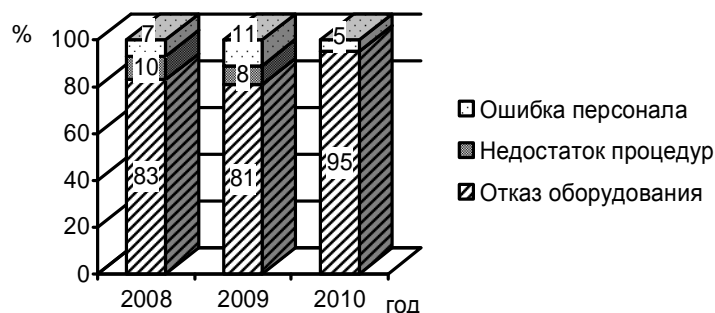


Рис. 1. Распределение аномальных событий с учетом характера их возникновения

В 2010 г., например, 21 аномальное событие из 22 произошло из-за отказа оборудования, что составляет 95 % общего количества. Одно аномальное событие по характеру отнесено к ошибкам персонала (5 %).

При расследовании нарушения определяются его непосредственная и коренная причины, чтобы разработать соответствующие корректирующие мероприятия для их устранения. Опыт выполнения НИР показал, что качество расследования нарушений не всегда удовлетворяет требованиям [4]. В частности, если непосредственные причины нарушений определяются достаточно точно, то коренные причины в некоторых случаях не удастся выявить и правильно сформулировать. Поэтому для анализа нарушений на основании статистических данных были рассмотрены и проанализированы непосредственные причины нарушений в работе АЭС, как наиболее достоверные.

Распределение непосредственных причин аномальных событий, произошедших в 2008 – 2010 гг. представлено на рис. 2.

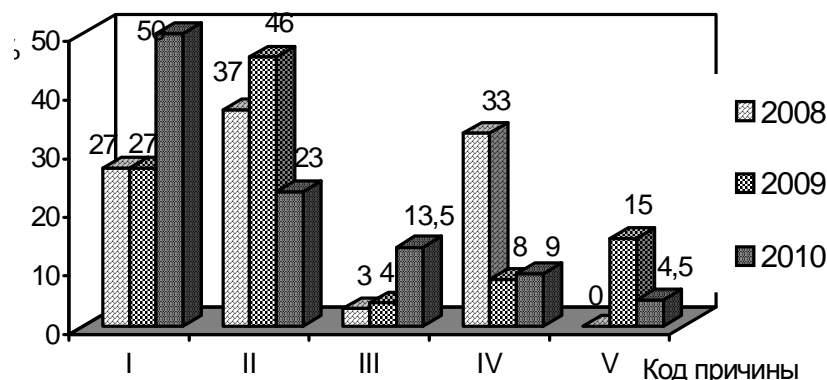


Рис. 2. Распределение непосредственных причин аномальных событий, произошедших в 2008 – 2010 гг.: I – механические повреждения; II – электротехнические неисправности; III – гидравлические воздействия; IV – неисправности в контрольно-измерительных системах; V – ошибки персонала

Согласно [4], непосредственные причины аномальных событий разделены на семь основных групп. Распределение аномальных событий, произошедших в 2010 г., в соответствии с их непосредственными причинами выглядит следующим образом.

1. Механические повреждения – 50 % (11 аномальных событий).
2. Неисправности в электротехнической части – 23 % (пять аномальных событий).
3. Химические воздействия или связанные с физикой реактора – 0 %.
4. Гидравлические воздействия – 13,5 % (3 аномальных события).
5. Неисправности в контрольно-измерительных системах – 9 % (два аномальных события).
6. Окружающие условия (аномальные условия на АЭС) – 0 %.
7. Окружающая среда (аномальные условия вне АЭС) – 0 %.
8. Непосредственные причины, связанные с персоналом, – 4,5 % (одно аномальное событие).

Таким образом, 50 % всех аномальных событий в 2010 г. произошло по причине механических повреждений. Поэтому целесообразно провести анализ выявленных отказов из-за механических повреждений.

Среди непосредственных причин возникновения аномальных событий, которые классифицированы как механические повреждения, в 2010 г. наибольшее количество

составляют усталость, дефект сварного шва, внутренний дефект материала (три аномальных события). Кроме того, зафиксированы следующие механические повреждения: коррозия, эрозия; износ, неудовлетворительная смазка; истощение ресурса; превышение допустимой нагрузки (трещина, обрыв); блокирование, ограничение движения, заклинивание, защемление; деформация, перекос, сдвиг, ложное перемещение, разъединение, ослабление связи; прочие механические повреждения.

Анализ нарушений в работе АЭС, произошедших в 2008 - 2010 гг., выявил некоторые тенденции относительно систем, элементы которых отказали в ходе нарушения.

С использованием данных табл. 1 построен график (рис. 3), который иллюстрирует вклад каждой системы в общее количество аномальных событий в рассматриваемом периоде.

Т а б л и ц а 1

Данные по системам, элементы которых отказали в ходе нарушения

Код системы*	Название системы	Количество аномальных событий по годам			Всего аномальных событий, кол-во, %
		2010	2009	2008	
3А	Системы реактора	1		1	2 (2,5)
3В	Технологические системы 1-го контура	3	10	2	15 (18,75)
3С	Технологические системы 2-го контура турбинного отделения	2	2	5	9 (11,25)
3D	Технологические системы общеплочного назначения	1			1 (1,25)
3Е	Системы электроснабжения	1	3	2	6 (7,5)
3G	Системы безопасности защитные	3	5	2	10 (12,5)
3Н	Системы безопасности локализующие			1	1 (1,25)
3I	Системы безопасности управляющие	2	1	5	8 (10)
3К	Системы безопасности обеспечивающие	1	2	3	6 (7,5%)
3М	Вспомогательные системы обеспечения работоспособности оборудования основных систем	8	4	10	22 (27,5)
Итого аномальных событий		22	27	30	80 (100)

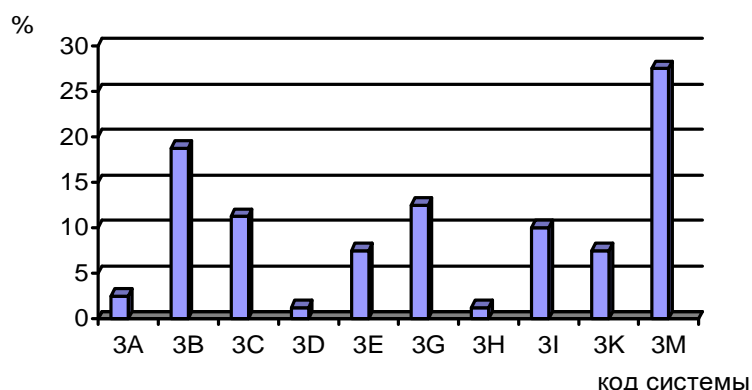


Рис. 3. Распределение количества отказов элементов систем, вызвавших аномальные события в 2008–2010 гг.

*Код системы — это классификация системы в соответствии с [4], которая определена в отчете о нарушении в работе АЭС.

Как видим, наибольшее количество отказов (27,5 %) произошло во вспомогательных системах обеспечения работоспособности оборудования основных систем (ЗМ). Среди них больше всего отказов в цепях управления, защиты и сигнализации (8,75 %), второе место занимают отказы в системе регулирования и защиты турбины (5 %), третье – отказы в маслосистемах (3,75 %). Кроме того, в этот период произошло по два отказа в системе возбуждения генератора, в системах контроля и измерения технологических параметров и во вспомогательных системах генератора.

Второй по величине вклад (18,75 %) в отказы систем вносят технологические системы 1-го контура, среди которых наибольшее количество приходится на систему циркуляции теплоносителя (11,25 %) и систему компенсации давления (5 %).

Среди систем безопасности (СБ) наибольший вклад (12,5 %) в общее количество аномальных событий составили защитные СБ, среди которых первое место занимают органы управления и защиты реактора (5 %).

Достаточно большое количество отказов оборудования вспомогательных систем и технологических систем 1-го контура свидетельствует о недостаточности контроля над состоянием элементов этих систем, отсутствии достаточного объема технического обслуживания для поддержания оборудования в работоспособном состоянии.

Результаты анализа непосредственных причин возникновения нарушений

Деградация – это действие одного или совокупности естественных процессов старения, коррозии, изнашивания, усталости и разрушения, а старение – это постепенное изменение свойств объекта, вызываемое химическими и (или) физическими процессами, самопроизвольно протекающими в материалах [5]. Таким образом, выявленные при статистической оценке механические повреждения характеризуют процессы деградации вследствие старения оборудования, назначенный ресурс которого исчерпан или приближается к исчерпанию.

Кроме механических повреждений важную роль в возникновении нарушений играют неисправности в электротехнической части, которые занимают второе место среди непосредственных причин. В 2010 г. такие аномальные события составили 23 % общего количества аномальных событий. При этом большую часть составляют короткие замыкания, чуть меньшую – плохой контакт, размыкание, обрыв цепи. Следует отметить, что причинами коротких замыканий могут быть и разрушение изоляции, перегрев, внутреннее повреждение, другие факторы, характерные для старения и деградации оборудования. Поэтому данную группу аномальных событий также необходимо учитывать при рассмотрении нарушений, связанных со старением оборудования.

Кроме механических повреждений и электротехнических неисправностей значительную часть составляют непосредственные причины, связанные с неисправностями в контрольно-измерительных системах. Эти системы характеризуются небольшим сроком эксплуатации, а потому требуют более пристального внимания к изучению и контролю их технического состояния. Наличие устаревшей элементной базы, подверженность физическому износу, сложность конфигураций создают условия для возникновения отказов элементов данных систем. Наибольшее количество таких аномальных событий произошло в 2008 г. Заметим, что модернизации контрольно-измерительных систем, замена физически и морально устаревшего оборудования, важность которых осознается руководством АЭС и которые все-таки проводятся, позволила значительно уменьшить количество отказов элементов контрольно-измерительных систем. Однако этот процесс требует постоянного внимания, так как ситуация может измениться в любой момент, если контроль состояния оборудования будет уменьшен или приостановлен.

Таким образом, основными вкладчиками в непосредственные причины возникновения нарушений, связанных со старением оборудования, являются механические повреждения, неисправности в электротехнической части и неисправности в контрольно-измерительных системах.

Выявленные тенденции

Всего за 2008 – 2010 гг. произошло 65 нарушений в работе АЭС Украины. Все нарушения проанализированы и отобраны те, которые вызваны отказом оборудования, срок службы которого либо подходит к завершению, либо уже был продлен. Всего насчиталось 22 таких нарушения, что составляет 34 % общего количества нарушений в рассматриваемом периоде. Распределение по годам количества нарушений, связанных со старением оборудования, представлено на рис. 4.

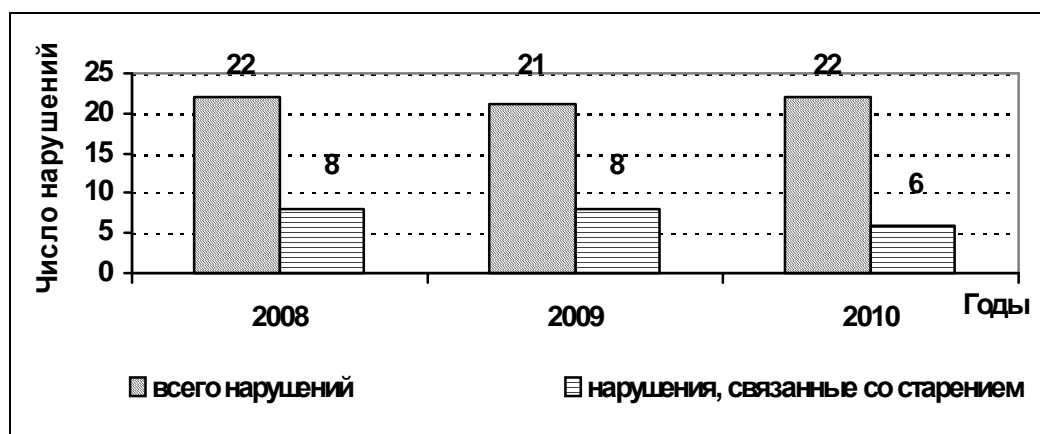


Рис. 4. Распределение количества нарушений, связанных со старением оборудования, по годам

В 2008 г. нарушения, связанные со старением оборудования, составили 36 %, в 2009 г. – 38 %, в 2010 г. – 27 % общего количества нарушений за год. Это достаточно весомые цифры, чтобы обратить на себя внимание. Для улучшения ситуации необходимы мероприятия, направленные на устранение недостатков в системе управления ресурсом оборудования.

Распределение нарушений по энергоблокам АЭС Украины в 2008 – 2010 гг., связанных со старением, представлено на рис. 5.

Наибольшее количество нарушений, связанных со старением оборудования, произошло на энергоблоке № 2 ЮУ АЭС, срок эксплуатации которого заканчивается в январе 2015 г. Отметим, что на энергоблоке № 1 ЮУ АЭС, срок эксплуатации которого заканчивается раньше (в декабре 2012 г.), нарушений, связанных со старением, в 2008 - 2010 гг. не было. Подобную ситуацию можно прокомментировать следующим образом. Поскольку энергоблок № 1 ЮУ АЭС первый приближается к завершению проектного срока эксплуатации, для обоснования возможности его продления и обеспечения этой возможности был разработан и внедрен комплекс мероприятий по повышению безопасности энергоблока № 1, в частности по продлению срока эксплуатации, модернизации и замене оборудования. На энергоблоке № 2 ЮУ АЭС такие мероприятия также начали внедряться, но будут выполнены в полном объеме к 2015 г., когда планируется продление срока его эксплуатации.

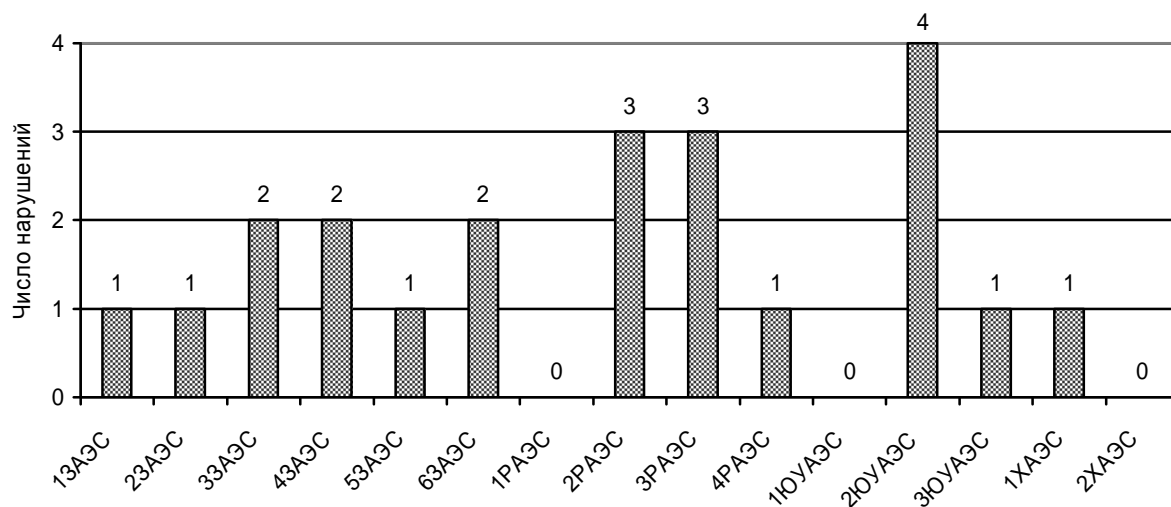


Рис. 5. Распределение количества нарушений за 2008 – 2010 годы, связанных со старением, по энергоблокам АЭС Украины: первая цифра перед обозначением АЭС - это номер энергоблока

На втором месте по количеству нарушений, связанных со старением оборудования, находятся энергоблоки № 2 и 3 РАЭС. При этом на энергоблоке № 1 РАЭС нарушений, связанных со старением, в 2008 – 2010 гг. не происходило. Отметим, что решения о продлении срока эксплуатации энергоблоков № 1, 2 РАЭС принимались одновременно в 2010 г., хотя реально срок эксплуатации энергоблока № 2 РАЭС заканчивается в декабре 2011 г., и основной объем мероприятий по замене и модернизации оборудования энергоблока № 2 РАЭС был запланирован на 2010 - 2011 гг. В связи с этим можно ожидать, что после внедрения всех необходимых мероприятий для обеспечения безопасности сверхпроектной эксплуатации нарушений, связанных со старением оборудования, на энергоблоке № 2 РАЭС, как и на энергоблоке № 1, не будет.

Увеличение в 2010 г. количества нарушений, непосредственными причинами которых были определены механические повреждения, говорит о существовании проблемы, связанной с управлением старением оборудования, в частности с поддержанием работоспособного состояния оборудования, назначенный ресурс которого исчерпывается. Такое оборудование нуждается во внедрении целого ряда мероприятий, заключающихся в постоянном контроле и проведении оценки технического состояния оборудования, изучении истории его эксплуатации, расчете остаточного ресурса, выявлении необходимости своевременной замены оборудования, которое уже не отвечает требованиям безопасной эксплуатации, планировании такой замены и ее проведении и т.п. Все это должно быть предусмотрено при создании системы управления ресурсом оборудования и программы управления старением, в частности. Эффективное функционирование такой системы на сегодня является чрезвычайно важным фактором безопасной эксплуатации энергоблоков.

Анализ нарушений, которые происходили на АЭС Украины, начиная с 1992 г., показывает, что отказы оборудования вспомогательных систем очень часто наблюдались в период с 1992 по 1997 гг., в 1998 – 2004 гг. таких отказов не было вообще, а с 2005 г. они составляют значительный вклад в общее количество нарушений. Таким образом, в отличие, например, от систем электроснабжения, отказы которых происходят регулярно и примерно на одном количественном уровне, количество отказов вспомогательных систем имеет нестабильный характер и нуждается в изучении и контроле. В

результате того, что эти системы не относятся к СБ и имеют более низкий приоритет, они могут стать слабым местом, которое способно значительно ухудшить уровень эксплуатационной безопасности, вызывая отклонения от нормального режима эксплуатации и истощение ресурса оборудования СБ из-за избыточных срабатываний.

Выводы

В результате проведенной работы было показано, что более трети нарушений составляют нарушения, вызванные отказом оборудования с законченным проектным сроком эксплуатации. При этом в большинстве случаев это оборудование систем нормальной эксплуатации и систем, важных для безопасности. Поскольку отказы данного оборудования приводят к нарушениям в работе АЭС, то приоритетность и очередность выполнения замены оборудования должна пересматриваться, а объем и периодичность технического обслуживания - корректироваться с учетом причин возникновения отказа.

Анализ каждого из отобранных нарушений в работе АЭС был направлен на определение слабых мест в системе управления старением, устранение которых могло бы предотвратить возникновение отказов оборудования с законченным проектным сроком эксплуатации. В результате анализа были выявлены следующие недостатки в системе управления старением, которые наиболее часто приводили к возникновению нарушений в работе АЭС:

1. Несвоевременная замена оборудования, исчерпавшего свой ресурс, из-за недостаточности финансирования.
2. Отставание от сроков запланированной замены оборудования.
3. Установление очередности замены без учета степени важности.
4. Недостаточность как периодичности, так и объемов технического обслуживания устаревшего оборудования.
5. Отсутствие процедур по определению состояния оборудования.
6. Недостаточность технических средств диагностики.
7. Отсутствие технологий, которые позволили бы при невозможности замены оборудования улучшить состояние оборудования, исчерпавшего свой ресурс, восстановить его ресурс.

Анализ нарушений, связанных со старением оборудования, а также анализ оперативных сообщений, выполненных в рамках НИР, выявил недостатки расследования таких нарушений. Комиссии по расследованию нарушений не всегда учитывают ресурс оборудования при определении причин нарушений, не проводят анализа методов, объемов и периодичности технического обслуживания оборудования, установленный срок эксплуатации которого подходит к завершению. И почти никогда не анализируют и не выявляют недостатки в системе управления ресурсом. Мероприятия, которые разрабатываются в результате расследования нарушений и устраняют такие недостатки, как недостаточный объем или периодичность технического обслуживания, несвоевременное проведение замены устаревшего оборудования, нельзя считать полными, поскольку при неустановленных недостатках в системе управления старением этого может оказаться недостаточно для предотвращения повторения нарушения в будущем.

Устранение указанных недостатков позволит значительно уменьшить количество нарушений в работе АЭС, что приведет к повышению эксплуатационной безопасности энергоблоков АЭС Украины.

АНАЛІЗ ПОРУШЕНЬ У РОБОТІ АЕС, ПОВ'ЯЗАНИХ ЗІ СТАРІННЯМ УСТАТКУВАННЯ

В.В. Інюшев, Л.М. Печериця, О.В. Печериця

Надані результати аналізу порушень у роботі АЕС України, які сталися у 2008 – 2010 рр., пов'язаних зі старінням обладнання. Визначені проблеми в управлінні ресурсом устаткування, які впливають на виникнення порушень у роботі АЕС, а також важливість усунення недоліків управління ресурсом для безпечної експлуатації АЕС.

ANALYSIS of the NPP' OPERATING IRREGULARITIES RELATED to the EQUIPMENT AGEING

V. Inyushev, L. Pecheryza, O. Pecheryza

The Ukrainian NPP' operating irregularities analysis for the period of 2008 – 2010 related to the equipment ageing was resulted. The equipment resource management problems influenced on the NPP' operating irregularities were determined. It was emphasized the importance of resources management imperfections reduction for the NPP' safe operation.

Список использованных источников

1. Оперативний та технологічний аналіз порушень у роботі АЕС України за 2008 рік: звіт про НДР (заключний) / ДНТЦ ЯРБ; керів. Лігоцький О.І., викон.: Печериця Л.М. [та ін.], 2009. – 123 с. – № ДЄ 0107U003736.
2. Оперативний та технологічний аналіз порушень у роботі АЕС України за 2009 рік: звіт про НДР (етап 2) / ДНТЦ ЯРБ; керів. Лігоцький О.І., викон.: Печериця Л.М. [та ін.], 2010. – 242 с. – № ДЄ 0109U006937.
3. Оперативний та технологічний аналіз порушень у роботі АЕС України за 2010 рік: звіт про НДР (заключний) / ДНТЦ ЯРБ; керів. Лігоцький О.І., викон.: Печериця Л.М. [та ін.], 2011. – 215 с. – № ДЄ 0109U006937.
4. Положення про порядок розслідування та обліку порушень в роботі атомних електричних станцій (НП 306.2.100–2004). – Затвердж. наказом Держатомрегулювання від 1 грудня 2004 р. № 184 та зареєстр. в М-ві юстиції України 17.12.2004 за № 1594/10193.
5. ДСТУ 2860 – 94. Надійність техніки. Терміни та визначення. – Введ. 1994-12-28. – К.: Держстандарт України, 1995.

Надійшла до редакції 28.01.2012 р.
Після доопрацювання 18.02.2013 р.