

В. И. Богорад, Т. В. Литвинская,  
А. В. Носовский, А. Ю. Слепченко

Государственное предприятие  
«Государственный научно-технический центр по ядерной  
и радиационной безопасности», г. Киев, Украина

## Вопросы контроля герметичности оболочек тепловыделяющих элементов при внедрении новых видов ядерного топлива на АЭС Украины с реакторами ВВЭР-1000

*Рассмотрены проблемы, связанные с возможностью осуществления контроля герметичности оболочек тепловыделяющих элементов при переходе украинских АЭС на новые виды топлива.*

*Ключевые слова:* активная зона, контроль, радионуклид, твэл, ядерный реактор, ядерная безопасность.

**В. І. Богорад, Т. В. Литвинська, А. В. Носовський,  
О. Ю. Слепченко**

### Питання контролю герметичності оболонок тепловидільних елементів із впровадженням нових видів ядерного палива на атомних станціях України з реакторами ВВЕР-1000

*Розглянуто проблеми, пов'язані з можливістю здійснення контролю герметичності оболонок тепловидільних елементів у разі переходу українських АЕС на нові види палива.*

*Ключові слова:* активна зона, контроль, радіонуклід, твел, ядерний реактор, ядерна безпека.

Одним из основных видов радиационного контроля на атомной станции (АС) является радиационный контроль состояния защитных барьеров, который включает, помимо всего прочего, контроль герметичности оболочек (КГО) тепловыделяющих элементов (твэлов) путем измерения объемной активности реперных радионуклидов или их групп в теплоносителе основного циркуляционного контура.

Основной нормативный критерий возможности эксплуатировать топливную загрузку, в соответствии с ПБЯ-2008 [1], — количество негерметичных (поврежденных) твэлов в активной зоне разного типа неплотности. Повреждения, при которых из-под оболочки твэла в теплоноситель попадают только летучие продукты деления, принято называть газовой неплотностью. Другой вид повреждений — это повреждения, допускающие контакт топлива с водой. Требования ПБЯ-2008, ограничивающее количество негерметичных твэлов в активной зоне для каждого из типов повреждений, звучат так:

1. «Эксплуатационные пределы повреждения твэлов за счет создания микротрещин с дефектами типа газовой неплотности оболочки не должны превышать 0,2 % твэлов и 0,02 % твэлов при прямом контакте ядерного топлива с теплоносителем».

2. «Предел безопасной эксплуатации по количеству и характеру дефектов твэлов составляет 1 % твэлов с дефектами типа “газовая неплотность” и 0,1 % твэлов, для которых имеет место прямой контакт теплоносителя с ядерным топливом».

Как видим, численное значение данного критерия жестко закреплено нормативным документом и тем самым служит исходной точкой для оценки всех радиационных параметров энергоблока.

Следующие по значимости критерии герметичности оболочек твэлов — пределы безопасной эксплуатации и эксплуатационные пределы по активности теплоносителя по реперным радионуклидам. ОПБУ-2008 [2] устанавливает связь между критериями по количеству поврежденных твэлов и критериями по активности теплоносителя по реперным радионуклидам:

«В проекте АС устанавливаются эксплуатационные пределы, пределы безопасной эксплуатации и максимальные пределы повреждения (количество и степень повреждения) тепловыделяющих элементов и соответствующие им пределы радиоактивности теплоносителя первого контура по реперным радионуклидам при нормальной эксплуатации, при нарушениях нормальной эксплуатации и при проектных авариях».

Другими словами, в соответствии с требованиями действующих нормативных документов неизбежным является критерий по количеству негерметичных твэлов в активной зоне, а критерий по активности теплоносителя по реперным радионуклидам — производная от него величина.

Контроль герметичности оболочек твэлов (КГО) проводится как во время работы, так и после остановки реакторной установки (РУ). Цель КГО — выявление негерметичных отработанных сборок для организации их хранения согласно нормам и правилам радиационной безопасности, а также недопущение дальнейшей эксплуатации сборок, превысивших критерий отказа.

Согласно [3], негерметичным является твэл, в оболочке которого имеется сквозное повреждение. Различают два типа таких нарушений: образование микротрещин, через которые могут проникать только газообразные продукты деления (газовая неплотность), и наличие дефектов,

при которых возможен непосредственный контакт топлива с теплоносителем, что приводит к проникновению в него, кроме газообразных, еще и других осколков деления.

КГО топлива реакторов типа ВВЭР-1000 в Украине проводится на основании документа [4], разработанного ОКБ «Гидропресс».

Исходными данными для оценки степени герметичности твэлов работающей РУ служит либо активность изотопов  $^{131-135}\text{I}$  в теплоносителе первого контура работающей РУ, либо удельная активность этих же изотопов в воде контура циркуляции стенда КГО для остановленной РУ.

Используемая на сегодняшний день методика [4] позволяет констатировать наличие (отсутствие) негерметичных твэлов и определить их оценочное число в загрузке на работающей РУ или, при пенальном контроле на остановленной РУ, определить соответствие тепловыделяющих сборок (ТВС) с негерметичными твэлами критерию отказа. К основным недостаткам методики относятся, во-первых, её привязанность к твэлам заданной геометрии, имеющим осевое отверстие и содержащим строго определенное количество делящегося материала, и, во-вторых, отсутствие возможности оперативного определения величины выгорания поврежденных твэлов на основании оперативных данных по соотношению реперных радионуклидов в первом контуре.

Для иллюстрации сказанного в табл. 1 приведены данные (в условных единицах) по активности газового зазора в топливе, для которого разрабатывалась методика [4], а в табл. 2 — в топливе ТВСА-12.

Таблица 1. Активность газового зазора твэлов по реперным радионуклидам йода для ТВСА

Радионуклид	Продолжительность эксплуатации, лет			
	1	2	3	4
I-131	6,7	6,4	5,2	6,8
I-132	6,0	5,8	4,7	6,1
I-133	5,5	5,2	4,3	5,6
I-134	1,8	1,7	1,4	1,9
I-135	2,2	2,1	1,8	2,3
С у м м а	22,2	21,2	17,4	22,7

Таблица 2. Активность газового зазора твэлов/твэгов по реперным радионуклидам йода для ТВСА-12

Радионуклид	Продолжительность эксплуатации, лет				
	1	2	3	4	5
I-131	5,4/5,2	6,1/5,9	5,2/4,5	7,2/5,1	2,5/1,8
I-132	4,0/3,9	4,6/4,4	3,9/3,4	5,3/3,7	1,8/1,3
I-133	2,7/2,6	3,1/3,0	2,6/2,2	3,6/2,5	1,3/0,9
I-134	0,5/0,5	0,6/0,5	0,5/0,4	0,9/0,6	0,4/0,3
I-135	0,9/0,8	1,0/1,0	0,9/0,7	1,3/0,9	0,5/0,4
Сумма	13,5/13	15,4/14,8	13,1/11,2	18,3/12,8	6,5/4,7

Из таблиц видно, что, во-первых, активность газового зазора топлива ТВСА-12 существенно отличается (в меньшую сторону) от активности газового зазора топлива ТВСА, а во-вторых, в большей степени зависит от величины выгорания. Все это в комплексе приводит к неприменимости методики, разработанной для «старого» топлива, к топливу ТВСА-12, и по большому счету требует, по меньшей мере, ее модернизации, а то и полной замены.

Если обратиться к мировой практике, то можно констатировать, что задачи контроля за целостностью ядерного топлива являются общими [5], и везде основным физическим принципом оценки является контроль содержания осколков деления ядерного топлива в теплоносителе. При этом отличаться могут только радионуклиды, по которым ведется контроль. Как правило, это следующие группы представительных нуклидов:

радиоактивные благородные газы:  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{133\text{m}}\text{Xe}$ ,  $^{135}\text{Xe}$ ,  $^{138}\text{Xe}$ ,  $^{85\text{m}}\text{Kr}$ ,  $^{87}\text{Kr}$ ,  $^{88}\text{Kr}$ ;  
 изотопы йода:  $^{131}\text{I}$ ,  $^{132}\text{I}$ ,  $^{133}\text{I}$ ,  $^{134}\text{I}$ ,  $^{135}\text{I}$ ;  
 изотопы цезия:  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{136}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ .

Методика [4] использует только информацию об изотопах йода и цезия, хотя уже с 80-х годов прошлого столетия в КГО активно используется информация о благородных газах, прежде всего изотопах ксенона [6]. В публикации [5] показано, что контроль герметичности по благородным радиоактивным газам более оперативен.

На сегодняшний день на основании полученных данных об активности теплоносителя созданы и внедрены экспертные системы КГО, позволяющие не только определять уровень активности реперных нуклидов в теплоносителе, но и давать рекомендации по режиму работы реактора и дальнейшему использованию негерметичных сборок в зависимости от степени разгерметизации. В качестве примера могут быть приведены такие системы, как системы инженерной поддержки и контроля BEACON-7 и ANC-9 (компания «Вестингхауз»), которые используются на 52 АЭС с PWR и ВВЭР в 10 странах. Работает в on-line режиме и система на основе кода DIADEME (Франция), которая проводит мониторинг и анализ активности в первом контуре PWR на основании измерения активности радиоактивных благородных газов тоже в on-line режиме.

Аналогичные разработки успешно ведутся и в России, где созданы экспертные системы для анализа поведения топлива ВВЭР, включающие расчетные коды РТОП-СА, РТОП и РТОП-КГО (коды РТОП-СА, РТОП-КГО аттестованы в Ростехнадзоре).

Экспертные системы не только решают обозначенные выше проблемы, связанные с неоднородностью активной зоны, но и позволяют проводить оценку выгорания поврежденных твэлов (например, при отсутствии цезиевых спайков\*), оценку выгорания при разгерметизации ТВС с разным сроком эксплуатации, а также выявлять новые разгерметизации по изменению соотношений Кг/Хе. Кроме того, внедрив в практическую деятельность экспертные системы, можно оптимизировать режимы изменения мощности РУ таким образом, чтобы эти изменения вызывали минимальный рост активности реперных радионуклидов в теплоносителе первого контура при наличии в активной зоне негерметичных твэлов. Такая экспертная система уже внедрена на Балаковской АЭС и энергоблоке № 5 Нововоронежской АЭС.

\* Под цезиевым спайком понимается скачкообразный рост удельной активности радионуклидов цезия в теплоносителе при снижении мощности реакторной установки.

Таблица 3. Активность теплоносителя для разных видов топлива при нахождении в активной зоне одного средненапряженного твэла для разной степени негерметичности, Бк/кг

Вид ТВС	Радио-нуклид	$\mu_1^i, c^{-1}$					
		$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$\gg \lambda^{3*}$
ТВС (ВВЭР-1000)	$^{131}\text{I}$	1,21E+04	2,19E+04	2,39E+04	2,41E+04	2,41E+04	2,41E+04
	$^{132}\text{I}$	1,99E+03	1,80E+04	9,25E+04	1,58E+05	1,70E+05	1,71E+05
	$^{133}\text{I}$	7,25E+03	3,85E+04	6,77E+04	7,33E+04	7,07E+04	7,40E+04
	$^{134}\text{I}$	7,66E+02	7,36E+03	5,29E+04	1,39E+05	1,66E+05	1,70E+05
	$^{135}\text{I}$	2,80E+03	2,16E+04	6,59E+04	8,29E+04	8,51E+04	8,55E+04
	С у м м а	2,49E+04	1,07E+05	3,03E+05	4,77E+05	5,16E+05	5,25E+05
	$N$	7,43E+03	1,73E+03	6,11E+02	3,88E+02	3,59E+01	3,52E+01
	$N\%^{**}$	15	3	1	1	0,1	0,1
ТВСА	$^{131}\text{I}$	1,32E+04	2,41E+04	2,62E+04	2,64E+04	2,64E+04	2,65E+04
	$^{132}\text{I}$	2,05E+03	1,85E+04	9,51E+04	1,62E+05	1,75E+05	1,76E+05
	$^{133}\text{I}$	7,84E+03	4,14E+04	7,29E+04	7,92E+04	7,96E+04	7,99E+04
	$^{134}\text{I}$	7,77E+02	7,47E+03	5,37E+04	1,42E+05	1,68E+05	1,72E+05
	$^{135}\text{I}$	2,95E+03	2,28E+04	6,96E+04	8,73E+04	8,99E+04	9,00E+04
	С у м м а	2,68E+04	1,14E+05	3,18E+05	3,55E+05	3,71E+05	5,44E+05
	$N$	6,90E+03	1,62E+03	5,82E+02	5,21E+02	4,99E+01	3,40E+01
	$N\%$	14	3	1	1	0,1	0,1
ТВС с удлиненным топливным столбом с центральным отверстием	$^{131}\text{I}$	1,04E+04	1,88E+04	2,05E+04	2,07E+04	2,07E+04	2,07E+04
	$^{132}\text{I}$	1,15E+03	1,04E+04	5,33E+04	9,10E+04	9,81E+04	9,88E+04
	$^{133}\text{I}$	6,14E+03	3,26E+04	5,74E+04	6,22E+04	6,25E+04	6,25E+04
	$^{134}\text{I}$	4,92E+02	4,70E+03	3,39E+04	8,92E+04	1,06E+05	1,08E+05
	$^{135}\text{I}$	2,08E+03	1,60E+04	4,92E+04	6,14E+04	6,29E+04	6,36E+04
	С у м м а	2,03E+04	8,25E+04	1,57E+05	2,62E+05	2,88E+05	2,91E+05
	$N$	9,11E+03	2,24E+03	1,18E+03	7,06E+02	6,42E+01	6,36E+01
	$N\%^{**}$	18	4	2	1	0,1	0,1
ТВСА-12 с удлиненным топливным столбом без центрального отверстия	$^{131}\text{I}$	7,73E+03	1,41E+04	1,54E+04	1,54E+04	1,55E+04	1,55E+04
	$^{132}\text{I}$	1,39E+02	1,26E+03	6,51E+03	1,00E+04	1,19E+04	1,20E+04
	$^{133}\text{I}$	2,65E+03	1,41E+04	2,47E+04	2,68E+04	2,69E+04	2,70E+04
	$^{134}\text{I}$	1,90E+01	1,83E+02	1,31E+03	3,44E+03	4,11E+03	4,18E+03
	$^{135}\text{I}$	4,40E+02	3,42E+03	1,04E+04	1,31E+04	1,35E+04	1,35E+04
	С у м м а	1,10E+04	3,31E+04	5,83E+04	5,87E+04	7,19E+04	7,22E+04
	$N$	1,68E+04	5,59E+03	3,17E+03	3,15E+03	2,57E+02	2,56E+02
	$N\%$	33	11	6	6	0,5	0,5

\* Постоянная распада.

\*\* Значения округлены так, чтобы их отношение к значению предела безопасной эксплуатации было кратно целому числу.

Необходимо также отметить, что на сегодняшний день ОАО «ВНИИАЭС» совместно с РНЦ КИ, Институтом ядерных реакторов РНЦ КИ при участии ФГУП ГНЦ РФ «ТРИНИТИ» разработана новая типовая методика контроля герметичности оболочек тепловыделяющих элементов с возможностью использования для топлива разных типов.

Таким образом, проблема методического обеспечения КГО при эксплуатации топлива новых видов (ТВСА-12) может быть успешно решена путем усовершенствования либо замены существующей на сегодняшний день методической базы КГО.

Другая проблема, связанная с появлением на рынке новых видов топлива ТВСА-12, — это соответствие основного критерия по количеству негерметичных твэлов критерию по активности теплоносителя по реперным радионуклидам йода. В табл. 3 приведены взятые из официальных документов значения активности теплоносителя по реперным радионуклидам йода для разных видов топлива при нахождении в активной зоне одного средненапряженного\* твэла разной степени негерметичности и рассчитанные на их основании показатели количества ( $N$ ) и процентного содержания ( $N\%$ ) негерметичных твэлов в активной зоне, соответствующие пределу безопасной эксплуатации ( $1,85 \cdot 10^8$  Бк/кг) и эксплуатационному пределу ( $1,85 \cdot 10^7$  Бк/кг). При этом для проведения оценки принималось, что повреждение твэлов типа «газовая неплотность» соответствуют показателям негерметичности  $10^{-4} \text{ с}^{-1} \leq \mu_i^t \leq 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ , а повреждения твэлов типа «контакт топлива с водой» — показателям негерметичности  $\mu_i^t \geq 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ .

Как видно из табл. 3, предел безопасной эксплуатации по количеству негерметичных твэлов, равный 1 % всех загружаемых в активную зону твэлов, соответствует пределу безопасной эксплуатации по суммарной активности реперных радионуклидов йода только для топлива ТВС (ВВЭР-1000) и ТВС(А). Для других видов топлива такого соответствия нет. Для того, чтобы топливо ТВСА-12 соответствовало требованиям ПБЯ-2008, потребовалось бы снизить предел безопасной эксплуатации в 5–6 раз. Естественно, что, с точки зрения необходимости выполнения требований нормативных документов, регулирующий орган должен потребовать от эксплуатирующей организации такого снижения эксплуатационных пределов и пределов безопасной эксплуатации при переходе на топливо ТВСА-12 даже несмотря на то, что все радиационные параметры энергоблока, включая выбросы в окружающую среду, на порядки меньше своих допустимых уровней, которые являются основным показателем безопасности при нормальной работе АЭС. С другой стороны, такое снижение эксплуатационного предела и предела безопасной эксплуатации приведет к необходимости пересмотра всего радиационного контроля, проводимого в рамках КГО, в сторону увеличения его объема из-за низких значений этих пределов.

Рассмотрим в качестве примера действующую на сегодняшний день методику [4] определения объема КГО на остановленном реакторе по данным КГО на работающем реакторе. В соответствии с этой методикой, КГО всех 163 сборок на остановленном реакторе должен проводиться, если во время работы на мощности удельная суммарная активность радионуклидов йода в первом контуре

превысит 20 % своего эксплуатационного предела. С учетом того, что для всех сборок ТВСА эксплуатационный предел по удельной суммарной активности радионуклидов йода составляет  $3,7 \cdot 10^7$  Бк/кг, эксплуатационный предел для сборки ТВСА-12 будет равен  $6,2 \cdot 10^6$  Бк/кг; 20 % эксплуатационного предела составит  $1,3 \cdot 10^6$  Бк/кг. Таким образом, КГО всех 163 сборок ТВСА-12 на остановленном реакторе, в соответствии с требованиями документа [4], должен проводиться, если во время работы на мощности удельная суммарная активность радионуклидов йода в первом контуре превысит  $1,3 \cdot 10^6$  Бк/кг. В то же время, как показывает практика, этот показатель удельной активности соответствует загрязнению первого контура только за счет поверхностного загрязнения твэлов топливной композицией даже при отсутствии негерметичных твэлов.

Сформулированная выше проблема уже не может быть решена только с помощью развития методической базы КГО, так как связана с недостатками в самом нормативном документе ПБЯ-2008.

В этой связи уместно напомнить историю появления самого требования к критерию безопасности по числу негерметичных твэлов в активной зоне. Обратимся к правилам ядерной безопасности атомных электростанций, выпущенным в 1974 г. [7]. В них требование к допустимому числу негерметичных твэлов звучит следующим образом: «При проектировании активной зоны реактора должны быть заранее установлены и обоснованы по условиям безопасной эксплуатации АЭС допустимые пределы повреждения, количество и степень повреждения твэлов» и «Активная зона должна быть спроектирована таким образом, чтобы при нормальной эксплуатации на протяжении всего расчетного срока службы не превышались допустимые пределы повреждения твэлов». Само значение численного критерия по числу негерметичных твэлов в документе отсутствует.

Впервые численное значение критерия появляется в приложении к ПБЯ-89 [8] под названием «Дополнительные требования по безопасности АС с наиболее распространенными в СССР типами РУ»: «Предел безопасной эксплуатации по числу и величине дефектов ТВЭЛов составляет 1 % ТВЭЛов с дефектами типа газовой неплотности и 0,1 % ТВЭЛов, для которых имеет место прямой контакт теплоносителя и ядерного топлива». Следует отметить, однако, что данная численная конкретизация предела безопасной эксплуатации в [8] относится к определенному виду топливных сборок (из табл. 2 видно, что это число соответствует пределу безопасной эксплуатации по удельной суммарной активности теплоносителя по радионуклидам йода).

И, наконец, в украинском варианте ПБЯ-2008 [1] данный критерий распространяется на все виды топлива независимо от его типа. Это и приводит к появлению проблем при лицензировании его новых видов, связанных с необходимостью существенного и, более того, не вполне корректного снижения предела безопасной эксплуатации по параметру активности первого контура по реперным радионуклидам йода.

Таким образом, проблема несоответствия основного критерия по количеству негерметичных твэлов критерию по активности теплоносителя по реперным радионуклидам йода для новых видов топлива может быть решена только путем внесения соответствующих изменений в ПБЯ-2008.

Резюмируя сказанное, следует констатировать, что переход на новые виды топлива украинских АЭС должен повлечь за собой, с одной стороны, усовершенствование

\* Под средненапряженным, в контексте данной статьи, следует понимать твэл, отработавший половину всей кампании.

нормативной базы КГО на работающей установке, а с другой — требует внесения изменений в действующие правила безопасности ядерных установок путем исключения количественных показателей по допустимому количеству негерметичных ТВЭЛОВ.

#### Список использованной литературы

1. *НП 306.2.145–2008*. Правила ядерної безпеки реакторних установок атомних станцій з реакторами з водою під тиском. — Затвердж. наказом Держатомрегулювання від 15.04.2008 № 73; зареєстр. Мін'юстом 09.06.2008 за № 512/15203. — К. : ДКЯРУ, 2008. — 52 с.
2. *НП 306.2.141–2008*. Загальні положення безпеки атомних станцій : Затвердж. наказом Держатомрегулювання від 19.11.2007 № 162; зареєстр. Мін'юстом 25.01.2008 за № 56/14747. — К. :
3. *ГОСТ 28506–90*. Сборки тепловыделяющие ядерных энергетических реакторов типа ВВЭР. Методы контроля герметичности оболочек тепловыделяющих элементов. — Введ. 01.07.91. — (Межгосударственный стандарт. Группа Ф67 ВВЭР Fuel assemblies in nuclear power W'WEK reactors. Fuel failure detection methods МКС 27.120.10 ОКСТУ 6960)
4. Установка реакторная В-320. Технические требования по контролю герметичности оболочек ТВЭЛОВ ВВЭР-1000 во время работы и после остановки реакторной установки 320.00.00.00.000 Д119.
5. Review of Fuel Failures in Water Cooled Reactors. — Vienna : IAEA, 2010. — (IAEA Nuclear Energy Series No. NF-T-2.1).
6. *К. Оно*. Experience with the Fission Products Monitoring System in Japanese Reactors, IAEA-TECDOC-709, Fuel failure in normal operation of water reactors: experience, mechanisms and management Proceedings of a Technical Committee Meeting held in Dimitrovgrad, Russian Federation, 26–29 May.
7. *ПБЯ-04–74*. Правила ядерной безопасности атомных электростанций : Утвержд. Госатомнадзором СССР 31.12.1974. — М. : Атомиздат, 1976.
8. *ПНАЭ Г-1-024–90*. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций (ПБЯ РУ АС-89). — Утвержд. Постановлением Госатомнадзора СССР от 12.06.90 № 7. Дата введения 01.09.1990. — М., 1991.

#### References

1. *NP 306.2.145–2008*. Rules for Nuclear Safety of Nuclear Power Plants with Pressurized Water Reactors: approved by SNRIU Order No. 73 of 15.04.2008. — Kyiv: SNRIU, 2008. — P. 52. (Ukr)
2. *NP 306.2.141–2008*. General Safety Provisions for Nuclear Power Plants: approved by SNRIU Order No. 162 of 19.11.2007 // Ofitsiyni visnyk Ukrainy. — 2008. — No. 9. — P. 226. (Ukr)
3. *GOST 28506–90*. Fuel Assemblies in Nuclear Power WWER Reactors. Fuel Failure Detection Methods. — Introduced 01.07.91. — (Interstate Standard. Group F67. ICS 27.120.10, OKSTU 6960) (Rus)
4. Reactor Facility V-320. Technical Requirements for WWER-1000 Fuel Leakage Detection during Reactor Operation and after Shutdown 320.00.00.00.000 Д119. (Rus)
5. Review of Fuel Failures in Water Cooled Reactors. — Vienna: IAEA, 2010. — (IAEA Nuclear Energy Series No. NF-T-2.1).
6. *K. Ono*. Experience with the Fission Products Monitoring System in Japanese Reactors. IAEA-TECDOC-709. Fuel Failure in Normal Operation of Water Reactors: Experience, Mechanisms and Management. Proceedings of a Technical Committee Meeting held in Dimitrovgrad, Russian Federation, 26–29 May.
7. *PBYa-04–74*. Nuclear Safety Rules for Nuclear Power Plants: approved by USSR Gosatomnadzor 31.12.1974. — Moscow: Atomizdat, 1976.
8. *PNAE G-1-024–90*. Nuclear Safety Rules for NPP Reactors (PBYa RU AS-89). — approved by Order of USSR Gosatomnadzor No. 7 of 12.06.90. Introduced 01.09.1990. — Moscow, 1991.

Получено 06.02.2014.