

А. П. Шугайло<sup>1</sup>, С. П. Костенко<sup>2</sup>,  
Ал-др П. Шугайло<sup>1</sup>, В. Б. Крицкий<sup>1</sup>,  
Д. И. Рыжов<sup>1</sup>, Л. В. Хамровская<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Государственный научно-технический центр  
по ядерной и радиационной безопасности

<sup>2</sup> Государственный комитет ядерного регулирования Украины

## К вопросу о переназначении допустимого числа циклов нагружения тепломеханического оборудования

*Рассмотрены некоторые аспекты, касающиеся исчерпания циклов нагружения тепломеханического оборудования АЭС, и представлены основные положения методики по переназначению допустимого числа циклов нагружения и оценки технического состояния оборудования при циклических нагрузках.*

О. П. Шугайло, С. П. Костенко, Ал-др П. Шугайло,  
В. Б. Крицкий, Д. И. Рыжов, Л. В. Хамровська

### **Щодо питання перепризначення допустимої кількості циклів навантаження тепломеханічного обладнання**

*Розглянуто деякі аспекти щодо вичерпання циклів навантаження тепломеханічного обладнання АЕС і представлено основні положення методики з перепризначення допустимої кількості циклів навантаження та оцінки технічного стану обладнання при циклічних навантаженнях.*

**Н**а протяжении последних лет атомные электростанции, эксплуатируемые ГП НАЭК «Энергоатом», вырабатывают около 50 % общего объема электроэнергии в Украине. На этих электростанциях в работе находится 15 реакторных установок: две — с ВВЭР-440/213 (первый и второй энергоблоки Ровенской АЭС) и 13 — с ВВЭР-1000 (шесть — на Запорожской АЭС, две — на Хмельницкой, три — на Южно-Украинской АЭС, а также на третьем и четвертом энергоблоках Ровенской АЭС). Общая установленная мощность атомных электростанций Украины составляет 13818 МВт (эл.).

В настоящее время срок эксплуатации большинства действующих энергоблоков АЭС Украины превысил половину проектного срока, который будет исчерпан до 2025 г., за исключением энергоблоков № 2 Хмельницкой и № 4 Ровенской АЭС. В связи с этим технически обоснованно и экономически целесообразно продление срока эксплуатации энергоблоков АЭС при условии соответствия их безопасности требованиям национальных норм и правил по ядерной и радиационной безопасности и рекомендациям МАГАТЭ, что относится к первоочередным заданиям, которые определены в Концепции развития ГП НАЭК «Энергоатом».

Принимая во внимание, что проектные сроки эксплуатации энергоблоков №№ 1, 2 Ровенской АЭС и № 1 Южно-Украинской АЭС заканчиваются в 2010, 2011 и 2012 гг. соответственно, в настоящее время на них выполняются мероприятия по продлению эксплуатации в сверхпроектный срок.

Одним из основных факторов, определяющих возможность продления срока эксплуатации реакторной установки (РУ), является количество циклов нагружения оборудования, которое, в частности, реализуется при таких проектных режимах, как заполнение оборудования рабочей средой, уплотнение оборудования, гидравлические испытания, плановый разогрев и расхолаживание реакторной установки, аварийное расхолаживание и др.

В соответствии с требованиями норм, правил и стандартов по ядерной и радиационной безопасности (в частности п. 10.6.3 НП 306.2.141-2008 «Общие положения безопасности атомных станций» и п. 9.1.17 ПНАЭ Г-7-008-89 «Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок») на атомных энергетических установках (АЭУ) должен вестись учет количества циклов работы оборудования, начиная с этапов пуска наладочных работ.

Во исполнение требований указанных нормативных документов, эксплуатирующая организация осуществляет, в том числе, постоянный учет и мониторинг текущего состояния проектного ресурса оборудования и трубопроводов реакторной установки по количеству циклов нагружения, что является необходимым условием безопасной и надежной эксплуатации как отдельных элементов РУ, так и АЭС в целом.

Допустимое количество циклов нагружения для оборудования РУ установлено проектом ядерной установки на основании расчетных обоснований прочности и отражено в технологическом регламенте безопасной эксплуатации (ТРБЭ), техническом обосновании безопасности и отчете по анализу безопасности каждого энергоблока.

Эксплуатирующая организация ежегодно, например, в сводном годовом отчете по оценке текущего уровня эксплуатационной безопасности энергоблоков приводит результаты

Таблица 1. Режимы, для которых при эксплуатации отдельных энергоблоков возможно исчерпание регламентированного количества циклов до окончания проектного срока эксплуатации

Проектные режимы	Блок АЭС	Срок эксплуатации блока (лет)	Фактическое количество циклов, реализованное на 31.12.2007	Допустимое количество циклов за проектный срок службы	Ожидаемое количество циклов на 30 лет***	
		А	Б	В	Г	
ВВЭР-1000	Заполнение оборудования рабочей средой, уплотнение оборудования	РАЭС-3	20	44	60	66
	Раздельное гидравлическое испытание на плотность 1-го контура	ЗАЭС-5	17,4	68	100	117
		ЮУАЭС-1	24	89	100	111
	Плановый разогрев с «холодного» состояния со скоростью до 20 °С/ч	ЗАЭС-1	22	65	90*	89
		РАЭС-3	20	67	90*	101
		ЮУАЭС-1	24	86	90*	108
ВВЭР-440	Ступенчатое снижение нагрузки со 100 % до 50 % мощности	РАЭС-1	27	131	200	151/202**
		РАЭС-2	26	139	200	167/222**
	Ступенчатое повышение нагрузки с 50 % до 100 % мощности	РАЭС-1	27	136	200	157/209**
		РАЭС-2	26	133	200	160/213**

\* Для энергоблоков ЗАЭС-1, ЮУАЭС-1 и РАЭС-3 для указанного режима допустимое количество проектных циклов было увеличено (с 70 до 90) по отдельным Техническим решениям.

\*\* Для энергоблоков ВВЭР-440 ожидаемое количество циклов приведено с учетом их возможного продления на 10-летний срок, т. е. на 30 лет / 40 лет.

\*\*\* Ожидаемое количество циклов на 30 лет рассчитано с учетом интенсивности реализации проектных режимов

на текущее время по формуле 
$$\Gamma = \frac{Б}{А} \cdot 30 \text{ лет.}$$

учета и мониторинга текущего количества отработанных циклов нагружения оборудования по реализованным режимам. Результаты анализа документа «Сводный годовой отчет по оценке текущего уровня эксплуатационной безопасности энергоблоков АЭС Украины с реакторами типа ВВЭР за 2007 год» [1] свидетельствуют о следующем:

для большинства проектных режимов эксплуатации оборудования фактическое количество циклов не превышает ожидаемое в соответствии с проектом количество циклов, т. е. при эксплуатации РУ на достигнутом уровне до исчерпания проектного срока службы РУ допустимые границы по количеству циклов нагружения не будут превышены;

существуют режимы (например, заполнение оборудования рабочей средой, уплотнение оборудования, гидравлические испытания, плановый разогрев с «холодного» состояния со скоростью до 20 °С/ч), для которых при эксплуатации РУ на достигнутом уровне возможно исчерпание регламентированного количества указанных циклов до окончания 30-летнего проектного срока службы (например, для энергоблоков № 3 РАЭС, № 1 ЮУАЭС). Примеры таких режимов приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Все указанные в табл. 1 и отображенные на рис. 1 режимы касаются оборудования и трубопроводов первого контура РУ, в частности корпуса и верхнего блока реактора, главного циркуляционного насоса, главного циркуляционного трубопровода, парогенераторов и других крити-

ческих элементов, замена которых в большинстве случаев невозможна или экономически неоправдана. Поэтому исчерпание допустимого количества циклов нагружения указанного оборудования и трубопроводов вследствие реализации отдельных проектных режимов может привести к необходимости преждевременной остановки и вывода энергоблока из эксплуатации и, как следствие, к потере украинской части электрической мощности.

В сложившейся ситуации на некоторых энергоблоках АЭС (в первую очередь это касается РУ с ВВЭР-1000 — см. табл. 1) актуализируются разработка и реализация мероприятий, которые обеспечат решение проблем, связанных с досрочным исчерпанием предельного количества отдельных циклов нагружения на оборудование и трубопроводы РУ с реакторами ВВЭР-1000 и ВВЭР-440.

К таким мероприятиям, в частности, относится разработанная ГНТЦ ЯРБ и утвержденная Госатомрегулированием «Методика переназначения допустимого числа циклов нагружения и оценки технического состояния по прочности тепломеханического оборудования при циклических нагрузках» МТ-Г.0.08.155-07 (далее — Методика).

Основанием для разработки данной Методики является «План действий ГП НАЭК «Энергоатом» по реализации «Комплексной программы работ по продлению срока эксплуатации действующих энергоблоков атомных станций» ПН-Д.0.08.341-04.

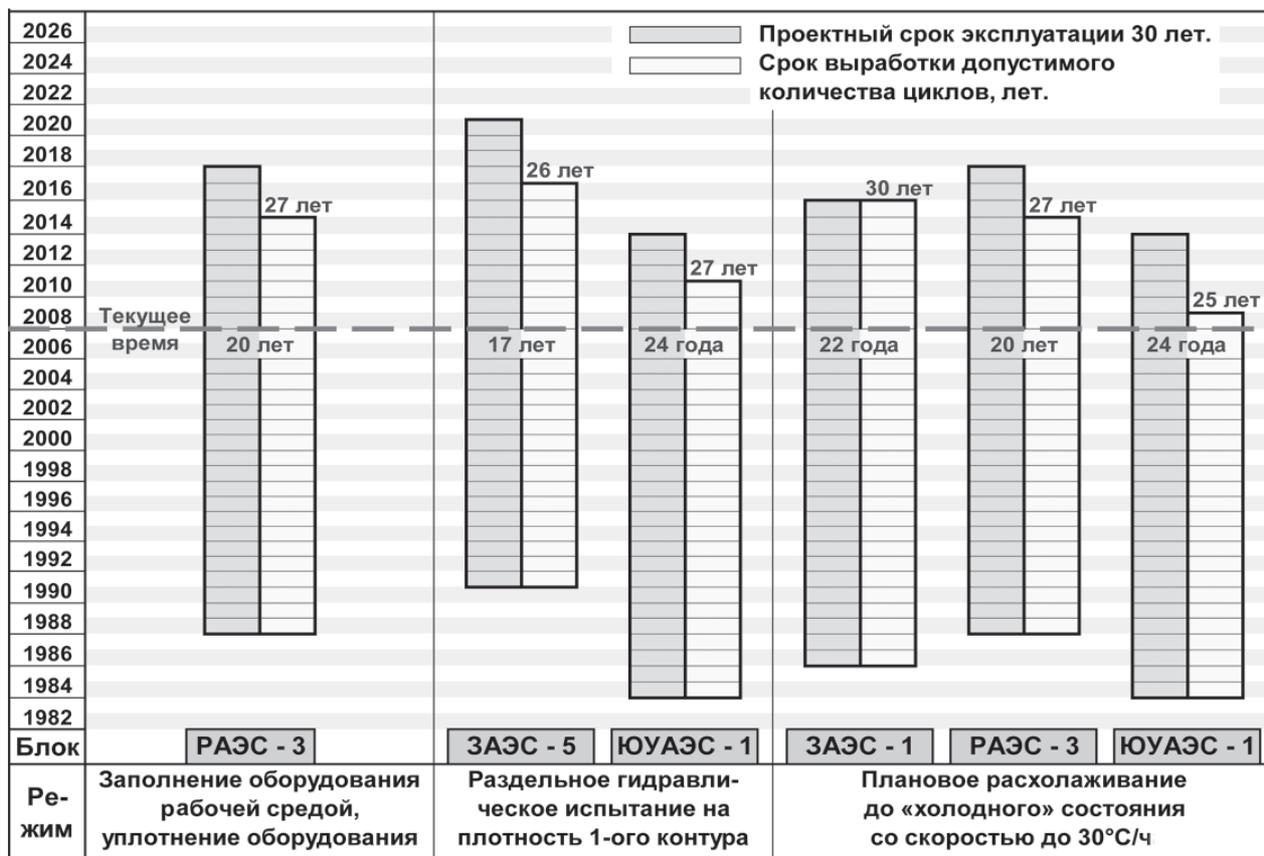


Рис. 1. Примеры режимов, для которых при эксплуатации отдельных энергоблоков возможно исчерпание регламентированного количества циклов до окончания проектного срока эксплуатации

Методика разработана в соответствии с требованиями и положениями следующих нормативно-правовых актов и рекомендаций МАГАТЭ:

НП 306.2.141-2008. Общие положения безопасности атомных станций;

ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок;

ПНАЭ Г-7-008-89. Правила устройства и безопасности эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок;

Оценка и подтверждение безопасности атомных электростанций, серия стандартов безопасности № NS-G-1.2, МАГАТЭ, Вена (2001).

Целью Методики переназначения допустимого числа циклов нагружения и оценки технического состояния по прочности тепломеханического оборудования при циклических нагрузках является установление требований к выполнению работ по переназначению допустимого числа циклов нагружения оборудования и трубопроводов АЭС.

Переназначение допустимого числа циклов нагружения оборудования и трубопроводов, согласно Методике, выполняется в случаях:

исчерпания проектного числа циклов нагружения по любому из указанных в ТРБЭ режимов, для которых устанавливается допустимое количество циклов за срок службы;

исчерпания проектного суммарного числа нарушений нормальной эксплуатации или суммарного числа аварийных ситуаций;

переназначения срока эксплуатации энергоблоков АЭС.

Методика применима для тепломеханического оборудования и трубопроводов групп А, В и С по ПНАЭ Г-7-008-89, выполненных из материалов, на которые распространяются ПНАЭ Г-7-008-89, а также для оборудования, выполненного из импортных материалов, разрешенных к использованию на АЭС в установленном порядке. Методика применима для проектных эксплуатационных режимов АЭС: нормальные условия эксплуатации (НУЭ), нарушения нормальных условий эксплуатации (ННУЭ) и аварийная ситуация (АС).

К основным составляющим Методики относятся:

общие положения;

состав работ по переназначению допустимого числа циклов нагружения;

номенклатура исходных данных для выполнения работ по переназначению допустимого числа циклов нагружения;

требования к составлению перечня оборудования и трубопроводов для переназначения допустимого числа циклов нагружения;

порядок составления перечня оборудования и трубопроводов для переназначения допустимого числа циклов нагружения;

требования к анализу технической документации;

требования к анализу поверочных расчетов на циклическую прочность;

требования к анализу данных регистрации циклов нагружения;

требования к анализу данных эксплуатационного контроля, технического обслуживания и ремонта;

порядок выполнения расчетов на циклическую прочность;

требования к исходным данным и программным средствам;  
порядок оформления результатов работ по этапу;  
порядок выполнения переназначения допустимого числа циклов нагружения;

порядок оформления результатов работ по этапу и др.

В соответствии с Распоряжением ГП НАЭК «Энергоатом» № 789 от 11.08.2008 г., «Методика переназначения допустимого числа циклов нагружения и оценки технического состояния по прочности тепломеханического оборудования при циклических нагрузках. МТ-Т.0.08.155-07» введена в действие на один год для ее апробации по результатам опыта эксплуатации. Апробация Методики проводилась специалистами ГНТЦ ЯРБ на базе энергоблока № 3 ОП «Ровенская АЭС» и включала следующие этапы:

подготовка исходных данных для апробации;

апробация и подготовка практических рекомендаций по применению Методики.

На этапе подготовки исходных данных для апробации Методики основным критерием выбора оборудования являлось наличие максимально полного комплекта исходных данных по выбранному оборудованию. С учетом вышеизложенного выбран теплообменник расхолаживания Ø 1200 (оперативное обозначение: 3TG11W01; регистрационный номер на ОП РАЭС: 184С; заводской номер: 1354) на энергоблоке № 3 ОП «Ровенская АЭС». Руководствуясь положениями Методики, для теплообменника расхолаживания собраны следующие исходные данные: акты о монтаже и испытаниях, протоколы контроля, паспорт, проектная документация, чертежи и др. С целью установления достоверности и корректности положений Методики, в частности рассмотрены ситуации, когда прогноз времени истощения циклов условно меньше, чем назначенный проектом срок службы оборудования, и наоборот, когда прогноз времени истощения циклов условно больше, чем назначенный проектом срок службы оборудования.

Результаты апробации, изложенные в отчете [7], подтвердили, что положения Методики адекватно отражают аспек-

ты, связанные с переназначением допустимого числа циклов нагружения. По результатам апробации «Методики переназначения допустимого числа циклов нагружения и оценки технического состояния по прочности тепломеханического оборудования при циклических нагрузках. МТ-Т.0.08.155-07» некорректностей или ошибок в ней не выявлено.

Практические рекомендации по применению Методики на данном этапе находятся в стадии разработки и будут сформулированы в ближайшее время.

## Список литературы

1. Сводный годовой отчет по оценке текущего уровня эксплуатационной безопасности энергоблоков АЭС Украины с реакторами типа ВВЭР за 2007 год.
2. Методика переназначения допустимого числа циклов нагружения и оценки технического состояния по прочности тепломеханического оборудования при циклических нагрузках. МТ-Т.0.08.155-07.
3. НП 306.2.141-2008. Общие положения безопасности атомных станций.
4. ПНАЭ Г-7-008-89. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.
5. ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.
6. Оценка и подтверждение безопасности атомных электростанций, серия стандартов безопасности № NS-G-1.2, МАГАТЭ, Вена (2001).
7. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка и внедрение методов переназначения допустимых циклов нагружения на тепломеханическое оборудование АЭС с ВВЭР» (этап 6). — К.: ГНТЦ ЯРБ, 2008. — 25 с.

*Надійшла до редакції 04.09.2009.*