

## УТВЕРЖДЕНО

приказ Департамента по ядерной  
и радиационной безопасности  
Министерства по чрезвычайным  
ситуациям Республики Беларусь

от 30.12.2022 № 68

### РУКОВОДСТВО

по ядерной и радиационной  
безопасности «Установление и  
методы мониторинга ресурсных  
характеристик насосов атомных  
электростанций»

## ГЛАВА 1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Руководство по ядерной и радиационной безопасности «Установление и методы мониторинга ресурсных характеристик насосов атомных станций» (далее – Руководство по безопасности) разработано в целях содействия соблюдению требований норм и правил по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Безопасность атомных электростанций. Требования к программе по управлению старением атомных электростанций», утвержденных постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 6 декабря 2018 г. № 61 (далее – НП 61), норм и правил по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных электростанций», утвержденных постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 30 июня 2021 г. № 45.

2. Настоящее Руководство по безопасности содержит рекомендации Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь по установлению и методам мониторинга ресурсных характеристик насосов атомных электростанций (далее – АЭС) при их проектировании, конструировании, изготовлении, эксплуатации и выводе из эксплуатации.

3. Настоящее Руководство по безопасности распространяется на корпуса и механическое оборудование насосов и насосных агрегатов АЭС, включенных в программу управления ресурсом.

4. Требования по управлению ресурсом могут быть выполнены с использованием иных способов (методов), отличных от изложенных в настоящем Руководстве по безопасности, при обоснованности выбранных способов (методов) для обеспечения безопасности.

5. Настоящее Руководство по безопасности не распространяется на тепломеханическое оборудование, корпуса реакторов, арматуру АЭС.

6. Для целей настоящего Руководства по безопасности используются термины и определения, приведенные в НП 61, а также следующие термины и определения:

деградация – необратимые изменения, ухудшающие способность изделия выполнять требуемую функцию, развивающиеся с течением времени. Деградация может наступить при применении или при хранении и быть вызвана внутренними процессами и (или) воздействием окружающей среды;

доминирующий механизм старения, деградации, повреждений насосов – один из нескольких механизмов старения, деградации, повреждений элементов насосов, приводящий к наиболее быстрому исчерпанию их ресурса;

кавитационный запас – превышение удельной энергии рабочей среды на входе в насос над удельной энергией, соответствующей давлению насыщенных паров жидкости при температуре перекачки;

однотипные насосы (далее – насосы) – насосы, представленные в проекте реакторной установки (далее – РУ) или АЭС как минимум в нескольких единицах.

7. Примерный перечень насосов АЭС, включаемых в программы управления старением и управления ресурсом и попадающих под действие настоящего Руководства по безопасности, приведен в приложении 1 к настоящему Руководству по безопасности. По согласованию с разработчиками проектов АЭС и РУ эксплуатирующая организация может дополнять указанный перечень.

## **ГЛАВА 2**

### **РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТАНОВЛЕНИЮ РЕСУРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

8. Ресурсные характеристики насосов АЭС рекомендуется устанавливать и обосновывать конструкторской (проектной) организацией на стадии проектирования.

9. Примерный перечень параметров, на основе которых могут быть определены ресурсные характеристики насосов АЭС, приведен в

приложении 2 к настоящему Руководству по безопасности. Необходимые для управления ресурсом насосов ресурсные характеристики рекомендуется определять на основе параметров из указанного перечня или, если приведенных в нем параметров недостаточно для определения ресурсных характеристик, дополнительно назначать иные.

10. Ресурсные характеристики насосов АЭС определяются как предельно допустимые значения параметров, приведенных в приложении 2 к настоящему Руководству по безопасности, достижение которых соответствует исчерпанию ресурса согласно критериям оценки ресурса.

11. Установленный конструкторской (проектной) организацией перечень ресурсных характеристик насосов рекомендуется обосновать, при этом в качестве обоснования могут служить:

ссылки на опыт эксплуатации и управление ресурсом аналогичных насосов на АЭС;

результаты опытной эксплуатации прототипов, имеющих наибольшую наработку и эксплуатируемых в наиболее жестких условиях по параметрам рабочей среды, внешним и внутренним воздействиям;

прогнозируемые механизмы деградации новых разработок насосов.

### **ГЛАВА 3**

## **РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТАНОВЛЕНИЮ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ РЕСУРСА**

12. Критерии оценки ресурса насоса рекомендуется устанавливать по каждой из назначенной для этого насоса ресурсной характеристике на основе требований нормативных правовых актов, в том числе обязательных для соблюдения требований технических нормативных правовых актов (далее – НПА, ТНПА), требований конструкторской (проектной) документации.

13. Примерный перечень критериев оценки ресурса насосов АЭС приведен в приложении 3 к настоящему Руководству по безопасности. Необходимые для управления ресурсом насосов критерии оценки ресурса рекомендуется определять с использованием указанного перечня.

14. В случае необходимости использования иных, не указанных в приложении 3 к настоящему Руководству по безопасности, критериев оценки ресурса или дополнительных источников установления

численных значений, критериев ресурса рекомендуется конструкторской (проектной) организации в проекте АЭС привести обоснование необходимости использования альтернативных критериев.

#### **ГЛАВА 4**

### **РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТОДАМ МОНИТОРИНГА РЕСУРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСОВ**

15. Мониторинг ресурсных характеристик насосов АЭС рекомендуется выполнять для всех включенных в программы управления старением и управления ресурсом насосов, ресурс которых подлежит управлению, с целью периодической или непрерывной (с использованием систем автоматизированного контроля остаточного ресурса (далее – САКОР)) оценки технического состояния и выявления доминирующих (определяющих) механизмов старения, деградации и повреждений этих насосов.

16. Конструкторской организации (проектировщику) насоса рекомендуется приводить ресурсные характеристики и методы мониторинга ресурсных характеристик в руководстве по эксплуатации с указанием периодичности замены внутрикорпусных элементов насоса с внесением в паспорт насоса перечня заменяемых элементов.

17. На стадии эксплуатации мониторинг ресурсных характеристик насосов АЭС рекомендуется проводить в соответствии с программами управления старением и управления ресурсом оборудования и трубопроводов, которые разрабатываются эксплуатирующей организацией для каждого энергоблока АЭС и согласовываются с разработчиками проектов РУ и АЭС.

18. Рекомендуется подтверждать, поддерживать и при наличии технической возможности восстанавливать ресурс насосов АЭС за счет технического обслуживания и ремонта с периодичностью, определенной в программе управления ресурсом, а также регламентах и графиках технического обслуживания и ремонта. Ресурс корпуса насоса подтверждается отдельными расчетами.

19. В случаях, когда остаточный ресурс насоса исчерпан, насос заменяется. При замене насоса в программы управления старением и управления ресурсом оборудования и трубопроводов рекомендуется вносить соответствующие изменения, включая необходимые мероприятия по мониторингу ресурсных характеристик вновь установленного насоса.

20. Эксплуатирующей организации рекомендуется определить перечень незаменяемых насосов, ресурс которых должен быть

обеспечен до вывода энергоблока из эксплуатации, а также насосов, задействованных при выводе энергоблока АЭС из эксплуатации, ресурс должен быть также обеспечен и на период вывода энергоблока из эксплуатации.

21. Необходимым условием выполнения процедур по мониторингу ресурсных характеристик, подлежащих управлению старением и управлению ресурсом насосов АЭС, является мониторинг фактических условий эксплуатации этих насосов, для чего рекомендуется контролировать (прямыми измерениями или с использованием косвенных расчетных оценок) следующие параметры:

температуру стенки корпуса;

температуру теплоносителя или иной рабочей среды;

количество циклов разогрева и расхолаживания;

скорость разогрева или расхолаживания и максимальные значения этих характеристик в процессе эксплуатации;

давление и скорость повышения или сброса давления теплоносителя или рабочих сред;

вибрационные характеристики (в программы управления старением и ресурсом рекомендуется включить периодичность замера вибрационных характеристик);

скорость потока теплоносителя или рабочих сред;

количество циклов нагружения.

22. Дополнительно к приведенным в пункте 20 настоящего Руководства по безопасности параметрам рекомендуется выполнять фиксацию и учет времени эксплуатации насосов в том или ином режиме, а также учет фактического количества реализаций того или иного режима эксплуатации, включая гидравлические (пневматические) испытания насосов на прочность и плотность с учетом заводских испытаний.

23. Контроль приведенных в пункте 20 настоящего Руководства по безопасности параметров рекомендуется осуществлять либо прямыми методами (постоянное или периодическое измерение в процессе эксплуатации), либо косвенными методами (посредством пересчета, экстраполяции или интерполяции).

24. В случаях невозможности прямого или косвенного контроля приведенных в пункте 20 настоящего Руководства по безопасности параметров рекомендуется установить порядок дооснащения насосов АЭС системами и (или) способами контроля необходимых параметров из приведенного выше перечня.

25. Рекомендуемые методы мониторинга ресурсных характеристик насосов с использованием, приведенных в пункте 20

настоящего Руководства по безопасности, параметров указаны в приложении 4 к настоящему Руководству по безопасности.

## **ГЛАВА 5**

### **РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СБОРУ, СИСТЕМАТИЗАЦИИ И ХРАНЕНИЮ ДАННЫХ ПО НАСОСАМ АЭС**

26. Для строящихся и проектируемых АЭС эксплуатирующей организации рекомендуется до ввода энергоблока АЭС в эксплуатацию организовать и отладить систему сбора, обработки, систематизации, анализа и хранения информации по повреждениям насосов, их накоплению и развитию, механизмам старения, отказам и нарушениям в работе (с учетом пусконаладочных работ), а также по режимам работы, включая переходные режимы, гидравлические (пневматические) испытания и аварийные ситуации.

27. Указанную информацию рекомендуется хранить в течение всего срока службы насоса в виде компьютерной базы данных, позволяющей в случае необходимости оперативно получить все необходимые параметры для оценки остаточного ресурса насоса.

28. В указанную базу данных для каждого типа насосов, ресурс которого подлежит управлению, рекомендуется вносить:

все паспортные данные на насос;

данные изготовителей насосов АЭС, монтажных и наладочных организаций о наличии или отсутствии отклонений от конструкторской (проектной) документации на насосы АЭС и технологии их изготовления, а также данные о ремонтах, термообработках, дополнительных испытаниях;

данные о наличии или отсутствии отклонений от конструкторской (проектной) документации на насосы АЭС при их хранении, переконсервации, перевозке и транспортно-технологических операциях;

технические характеристики имеющихся отклонений (при их наличии) при изготовлении, хранении, транспортировке, монтаже насосов, а также при пусконаладочных работах;

данные по мониторингу фактических условий эксплуатации насосов, приведенные в пункте 20 настоящего Руководства по безопасности;

данные по повреждениям насосов (или металла насосов), их накоплению и развитию, механизмам старения, отказам и нарушениям в работе.

Математическое и программное обеспечение базы данных рекомендуется подготовить таким образом, чтобы они позволяли на

любом этапе жизненного цикла энергоблока АЭС обеспечить возможность сопоставления исходных и фактических значений ресурсных характеристик насосов, а также анализа информации об условиях эксплуатации насосов АЭС и влиянии этих условий на ресурс.

29. Хранение базы данных рекомендуется выполнять с использованием современных носителей информации с обязательным дублированием информации в виде резервных копий, позволяющих в случае потери или повреждения данных восстановить полный объем информации. При хранении копий базы данных рекомендуется использовать носители информации, не имеющие связи с сетями общего доступа.

30. Для АЭС, находящихся на стадии эксплуатации, эксплуатирующей организации рекомендуется составить план-график разработки и ввода в действие компьютерной базы данных.

31. Для контроля и мониторинга ресурсных характеристик насосов АЭС рекомендуется применять методы, которые включены в нормы и правила по обеспечению ядерной и радиационной безопасности, стандарты, руководства по безопасности, методики по контролю металла, методики по измерению вибрации.

## Приложение 1

к Руководству по ядерной и радиационной безопасности  
«Установление и методы мониторинга ресурсных характеристик насосов атомных станций»

### **Примерный перечень насосов АЭС, включаемых в программу управления ресурсом**

Главный циркуляционный насосный агрегат;  
вспомогательный питательный электронасос;  
конденсатный электронасос I и II ступеней;  
насосы аварийного впрыска высокого давления;  
насосы аварийного впрыска низкого давления;  
насосы подпитки;  
насосы борного регулирования;  
насосы аварийного ввода бора;  
насосы аварийной питательной воды;  
питательный электронасос;  
спринклерные насосы;  
турбопитательный насос.



## Приложение 2

к Руководству по ядерной и радиационной безопасности «Установление и методы мониторинга ресурсных характеристик насосов атомных станций»

### **Примерный перечень параметров, на основе которых могут быть определены ресурсные характеристики насосов АЭС**

1. Время эксплуатации.
2. Общая толщина стенки корпуса или других элементов насоса.
3. Локальная толщина стенки корпуса или других элементов насоса.
4. Накопленное значение повреждаемости металла элемента насоса при циклически повторяющихся нагрузках.
5. Сдвиг критической температуры хрупкости металла сварных соединений и основного металла корпуса насоса вследствие температурного старения и циклической повреждаемости металла (указанный параметр используется только в случаях, когда является обязательным расчет корпуса насоса на сопротивление хрупкому разрушению).
6. Накопленное значение пластических деформаций элемента насоса.
7. Накопленное значение деформаций ползучести элемента насоса.
8. Изменения размеров или формы элемента насоса вследствие упругих и неупругих деформаций.
9. Механические характеристики конструкционных материалов незаменимых и заменяемых элементов насоса.
10. Качественное изменение структуры металла элемента насоса, приводящее к появлению новых механизмов его деградации и ускоренному исчерпанию ресурса.
11. Максимальное отклонение напора насоса от значения, установленного в конструкторской документации.
12. Максимальное отклонение подачи насоса от значения, установленного в конструкторской документации.
13. Необратимые изменения технологических параметров насосов вследствие отложений, износа или истирания, изменений размеров или формы элементов насоса.
14. Вибрационные характеристики насоса.
15. Кавитационный запас.

### Приложение 3

к Руководству по ядерной и радиационной безопасности «Установление и методы мониторинга ресурсных характеристик насосов атомных станций»

#### Примерный перечень критериев оценки ресурса насосов АЭС

№ п/п	Параметр	Критерий оценки ресурс	Примечание
1	Время эксплуатации	Предельное значение, установленное конструкторской документацией	Рекомендуется внести в паспорт и вести учет с занесением информации в паспорт
2	Общая толщина стенки корпуса или других элементов насоса	Минимальное значение, для которого выполняются требования расчета по выбору основных размеров, регламентированные НПА, ТНПА, устанавливающими нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (далее – АЭУ) (для элементов, не попадающих под действие НПА, ТНПА, расчет на прочность выполняется в соответствии с современным уровнем развития науки, техники)	Рекомендуется внести в паспорт и проводить контроль с занесением информации в паспорт (по результатам контроля в соответствии с программами по управлению старением и управлению ресурсом).
3	Локальная толщина стенки корпуса или других элементов насоса	Минимальное значение, для которого выполняются условия прочности при поверочном расчете на прочность, приведенные в НПА, ТНПА, устанавливающих нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов АЭУ (для элементов, не попадающих под действие НПА, ТНПА, расчет на прочность выполняется в соответствии с современным уровнем развития науки, техники)	Рекомендуется внести в паспорт и проводить контроль с занесением информации в паспорт (по результатам контроля в соответствии с программами по управлению старением и управлению ресурсом).
4	Накопленное значение повреждаемости металла элемента насоса при циклически повторяющихся	Предельное значение, приведенное в НПА, ТНПА, устанавливающих нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов АЭУ (для элементов, не попадающих под действие	

№ п/п	Параметр	Критерий оценки ресурс	Примечание
	нагрузках	НПА, ТНПА, расчет на прочность выполняется в соответствии с современным уровнем развития науки, техники)	
5	Сдвиг критической температуры хрупкости металла сварных соединений и основного металла корпуса насоса вследствие температурного старения и циклической повреждаемости металла	Предельное значение, для которого выполняются условия прочности при расчете на сопротивление хрупкому разрушению, приведенное в НПА, ТНПА, устанавливающих нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов АЭУ (для элементов, не попадающих под действие НПА, ТНПА, расчет на прочность выполняется в соответствии с современным уровнем развития науки, техники)	
6	Накопленное значение пластических деформаций элемента насоса	Предельное значение для конструкционного материала, установленное в НПА, ТНПА	
7	Накопленное значение деформаций ползучести элемента насоса	Предельное значение для конструкционного материала, установленное в НПА, ТНПА	
8	Изменения размеров или формы элемента насоса вследствие упругих и неупругих деформаций	Предельное значение, установленное в конструкторской (проектной) документации	
9	Механические характеристики конструкционных материалов незаменимых и заменяемых элементов насоса	Предельные значения для конструкционных материалов, установленные в НПА, ТНПА	

№ п/п	Параметр	Критерий оценки ресурс	Примечание
10	Качественное изменение структуры металла элемента насоса, приводящее к появлению новых механизмов его деградации и ускоренному истощению ресурса	Устанавливается эксплуатирующей организацией по результатам эксплуатационного контроля металла по согласованию с конструкторской организацией (при ее наличии) и материаловедческой организацией	Рекомендуется внести в паспорт (по результатам контроля в соответствии с программой управления ресурсом)
11	Максимальное отклонение напора насоса от значения, установленного в конструкторской документации	Устанавливается в конструкторской документации на насос	
12	Максимальное отклонение подачи насоса от значения, установленного в конструкторской документации	Устанавливается в конструкторской документации на насос	
13	Необратимые изменения технологических параметров насоса вследствие отложений, износа или истирания, изменения геометрических размеров или формы	Предельные значения, установленные в конструкторской документации на насос	
14	Вибрационные характеристики насоса	Недопустимые частоты или амплитуды колебаний насоса или его элементов, приводящие к нарушениям условий прочности самого насоса, его элементов или присоединенных трубопроводов. Определяются из условий прочности, приведенных в НПА, ТНПА, устанавливающих нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов АЭУ (для элементов, не попадающих под действие НПА, ТНПА, расчет на прочность выполняется в соответствии с современным уровнем развития науки, техники)	

№ п/п	Параметр	Критерий оценки ресурс	Примечание
15	Кавитационный запас	Предельное значение, установленное в конструкторской документации на насос	
16	Состояние заменяемых элементов	Предельное состояние, установленное в конструкторской документации на насос	Рекомендуется вносить в паспорт перечень замененных элементов, периодичность замены внутрикорпусных элементов, а также вести их учет

## Приложение 4

к Руководству по ядерной и радиационной безопасности «Установление и методы мониторинга ресурсных характеристик насосов атомных станций»

### Рекомендуемые методы мониторинга ресурсных характеристик насосов

№ п/п	Ресурсная характеристика	Рекомендуемые методы мониторинга
1	Общая толщина стенки корпуса или других элементов насоса	Ультразвуковая толщинометрия; визуальный и измерительный контроль
2	Локальная толщина стенки корпуса или других элементов насоса	Ультразвуковая толщинометрия; визуальный и измерительный контроль
3	Накопленное значение повреждаемости металла элемента насоса при циклически повторяющихся нагрузках	Расчет или автоматический метод (при использовании САКОР)
4	Сдвиг критической температуры хрупкости металла сварных соединений и основного металла корпуса насоса вследствие температурного старения и циклической повреждаемости металла	Расчет или эксперимент (по результатам испытаний образцов металла)
5	Накопленное значение пластических деформаций элемента насоса	Расчет или измерения
6	Накопленное значение деформаций ползучести элемента насоса	Расчет или измерения
7	Изменения размеров или формы элемента насоса вследствие упругих и неупругих деформаций	Расчет или измерения
8	Механические характеристики конструкционных материалов незаменяемых и заменяемых элементов насоса	Измерения (прямые или косвенные методы), испытания и (или) исследования на образцах металла
9	Качественное изменение структуры металла элемента насоса, приводящее к появлению новых механизмов его деградации и ускоренному исчерпанию ресурса	Исследования образцов металла
10	Максимальное значение внешней утечки, установленное в конструкторской документации	Измерения (прямые или косвенные методы) в процессе эксплуатации или при осмотрах
11	Максимальное отклонение напора насоса от значения, установленного в конструкторской документации	Расчет

<b>№ п/п</b>	<b>Ресурсная характеристика</b>	<b>Рекомендуемые методы мониторинга</b>
12	Максимальное отклонение подачи насоса от значения, установленного в конструкторской документации	Расчет
13	Необратимые изменения технологических параметров насоса вследствие отложений, износа или истирания, изменения геометрических размеров или формы	Расчет или измерения
14	Вибрационные характеристики насоса	Расчет или измерения
15	Кавитационный запас	Расчет