

УДК 620.179.1

**ПРИМЕНЕНИЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ПРИ  
ЭКСПЛУАТАЦИОННОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ  
МЕТАЛЛА ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ  
БЕЛОРУССКОЙ АЭС**

Буров А. Л. – старший преподаватель кафедры  
«Тепловые электрические станции»,  
Герасимова А. Г. – к. т. н., доцент, заместитель декана,  
Евсеенко И. А. – ассистент кафедры  
«Тепловые электрические станции»,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация:** эксплуатационный неразрушающий контроль состояния металла оборудования и трубопроводов атомных электрических станций является необходимым для оценки безопасности АЭС. То, в каких объемах и с какой периодичностью будет проводиться контроль, решается с помощью риск-ориентированного подхода (РОП). При таком подходе все зоны контроля делятся на группы в соответствии с величинами рисков их разрушения. Риски разрушения зоны контроля рассчитываются исходя их вероятности их разрушения и последствий этого разрушения.

**Ключевые слова:** АЭС, оборудование и трубопроводы, риск-ориентированный подход, неразрушающий контроль, безопасность.

**RISK-INFORMED APPROACH IN OPERATIONAL NON-  
DESTRUCTIVE TESTING OF METAL OF EQUIPMENT AND  
PIPELINES OF A BELARUSIAN NPP**

**Abstract:** operational non-destructive testing of the state of the metal of equipment and pipelines of nuclear power plants is necessary for evaluation the safety of NPPs. The risk-informed approach decides to what extent and with what frequency control will be carried out. The risks of destruction of the control zone are calculated based on their probability of their destruction and the consequences of this destruction.

**Keywords:** NPP, equipment and pipelines, risk-informed approach, non-destructive test, safety.

Цель риск-ориентированного подхода (РОП) в общем случае состоит в увеличении контроля в зонах повышенного риска и уменьшении в более безопасных зонах, что позволяет экономить ресурсы и вовремя принимать необходимые меры в зонах повышенного риска.

Если рассматривать ядерную энергетику, то здесь РОП подразумевает использование результатов детерминистского и вероятностного анализов безопасности, а также иные требования при принятии решений по вопросам безопасности в отношении атомной станции в целом, ее оборудования или в отношении определенной деятельности на АЭС.

Результаты эксплуатационного неразрушающего контроля используются как для планирования ремонтных работ, определения остаточного ресурса оборудования и трубопроводов Белорусской АЭС, так и для оценки безопасности АЭС в целом [1].

Необходимость применения РОП к неразрушающему контролю во время эксплуатации определяется эксплуатирующей организацией и согласовывается с проектантом. Ими же разрабатывается методика контроля, уменьшается количество зон контроля, увеличивается частота его проведения. Термин «риск» включает в себя как масштаб предполагаемого последствия, так и его вероятность. Это отражается в формуле (1) для риска в определенной зоне контроля [2]:

$$R = P_f \cdot C, \quad (1)$$

где  $P_f$  – вероятность разрушения зоны контроля;

$C$  – последствия этого разрушения.

При определении первой составляющей формулы – вероятности разрушения, при проведении вероятностного анализа безопасности (ВАБ) учитываются следующие параметры: статистическое распределение механических свойств материала, плотность распределения несплошностей, вероятность их обнаружения неразрушающими методами, периодичность режимов нагружения зоны контроля. Также необходимо учитывать временную составляющую, так как с течением времени возможен рост несплошностей в процессе эксплуатации, а также период времени эксплуатации [3].

При оценке последствий разрушения проводятся ВАБ 1 и 2 уровней, при которых принимаются как источник радиоактивности – ядерное топливо внутри реактора, как наихудшее последствие – запроектная авария с плавлением активной зоны. Все последствия оцениваются с учетом соблюдения правил охраны труба, общие подходы в разработке которых изложены в [4].

Так как на Белорусской АЭС РОП применяется впервые, то все зоны контроля группируются в соответствии с вероятностью и последствиями разрушения оборудования и трубопроводов на группы низкого, малого, среднего и высокого рисков. Группирование производится на основании предварительного определения этих зон, а также сбора и анализа информации, связанной с условиями эксплуатации, нагрузками, механизмами деградации узлов, ВАБ и вероятностным анализом разрушений (ВАР), оценкой последствий и рисков, анализом чувствительности этих рисков к допущениям, принимаемым при анализе информации о зонах контроля.

Как только зоны контроля сгруппированы, назначаются соответствующие требования к эксплуатационному контролю, учитывающие степень риска в определенной зоне. Для зон большого риска дополнительно проводят оценку группирования, используя детерминистские расчеты. Результаты оценки анализируются. Также оценивается, как влияют результаты прошедшего неразрушающего контроля на значения рисков. Если в вероятностном измерении величина риска изменяется на порядок или даже больше, проводится пересмотр категории риска.

Чтобы изменить объем и периодичность контроля, анализируют чувствительность рисков к допущениям при ВАБ и ВАР, к погрешностям самого контроля и к эффективности систем, которые обнаруживают течи.

То, какие границы использовать при определении степени вероятности разрушения или степени последствий при разрушении, определяет эксплуатирующая организация, согласовывая свое решение с проектантом.

Если для зоны контроля уже проводился РОП, необходимо регулярно проводить анализ состояния зоны контроля, основываясь на изменениях в металле, предыдущих мероприятиях в зоне контроля, накопленной повреждаемости, изменениях, которые появятся в ВАБ и ВАР. Также уточняется метод контроля и методика для определенной зоны, проводится детерминистский расчет состояния этой зоны, в случае необходимости изменяется категория зоны контроля, учитывается чувствительность ВАБ и ВАР к изменениям статистических распределений и пересчитываются риски.

Таким образом, применение риск-ориентированного подхода при эксплуатационном неразрушающем контроле оборудования Белорусской АЭС позволяет, используя оценку вероятности и последствий разрушений в определенной зоне контроля, оценить риски этих разрушений. Это позволяет оптимизировать процесс неразрушающего контроля оборудования и трубопроводов на АЭС, что ведет к большей эффективности контроля оборудования и к повышению безопасности станции.

#### Список литературы

1. Правила контроля основного металла, сварных соединений и наплавленных поверхностей при эксплуатации оборудования, трубопроводов и других элементов атомных станций : НП-084-15 : принят 07.12.2015 : вступ. в силу 25.03.2016 / Ростехнадзор. – М. : Ростехнадзор, 2016. – 101 с.
2. Оценка безопасности установок и деятельности. Серия норм безопасности МАГАТЭ : GRS – Р – 4 / Вена : МАГАТЭ, 2009. – 46 с.
3. Хенли Э. Д. Надежность технических систем и оценка риска / Хенли Э. Д., Кумато Х. – М. : Машиностроение, 1979. – 528 с.
4. Буров, А. Л. Разработка стандарта государственного предприятия «Белорусская АЭС» «Правила охраны труда при эксплуатации тепломеханического оборудования и тепловых сетей атомной электростанции» / А. Л. Буров, А. Г. Герасимова, А. А. Павловская // Современные технологии и экономика в энергетике. Материалы Международной научно-практической конференции. – СПб., 2022. – С. 150–152.