

# Критерии технического состояния трубопроводной арматуры

В.А. Ананьевский, В.В. Макаров, И.Т. Тер-Матеосянц

**В** соответствии с ГОСТ 27.002-89 [1] под техническим состоянием (ТС) объекта (в данном случае трубопроводная арматура (ТА)) понимается **совокупность подверженных изменению в процессе эксплуатации свойств объекта**, характеризующихся в определенный момент признаками, установленными технической документацией.

В ГОСТ 27.002-89 установлены такие характеристики технического состояния:

- работоспособное;
- неработоспособное.

Переход от работоспособного состояния к неработоспособному происходит при достижении предельных состояний ТА, критерии которых устанавливаются конструкторской и (или) НД. Однако достижение предельных состояний ТА при эксплуатации недопустимо, т.к. приводит к отказам.

В связи с этим необходимо ввести понятие «допустимое критическое работоспособное состояние» ( $ТС_{кр}$ ), при котором предельное состояние еще не достигается, но работоспособное состояние сохраняется. Критерии  $ТС_{кр}$  должны иметь свои численные значения, при достиже-

нии которых изделие должно сниматься с эксплуатации. Эти критерии должны быть установлены в КД и НД.

Таким образом, критериальная оценка технического состояния ТА ( $ТС_{ТА}$ ) производится только **по критериям работоспособного состояния и не должна «опускаться» ниже критерия критического работоспособного состояния.**

Прежде чем перейти к описанию вышеуказанных критериев, остановимся на некоторых аспектах, связанных со стартовыми предпосылками обеспечения работоспособного  $ТС_{ТА}$  и поддержания этого состояния в течение жизненного цикла.

Конструкторская документация на любую ТА содержит стартовые, оптимальные требования ко всем материалам, элементам, деталям и узлам, содержит все необходимые расчетные разделы проекта (прочность, надежность), обеспечивающие проектное работоспособное состояние ТА в течение обусловленного срока службы с заданными показателями надежности, безопасности и требований к качеству изделий. При этом должны быть установлены численные значения критериев работоспособного  $ТС$  и  $ТС_{кр}$ .

Для поддержания в процессе эксплуатации стартового работоспособного состояния, т.е. обеспечения живучести ТА, необходимо поддерживать и контролировать критерии работоспособного  $ТС$ . Другими словами, свойством живучести можно управлять, если критерии работоспособного состояния будут поддерживаться на уровне, при котором не будут достигнуты численные значения  $ТС_{кр}$ .

Идеология оптимизации критериев  $ТС_{ТА}$ , а вернее, их численных значений, с целью недопущения не только предельных состояний, но и значений  $ТС_{кр}$ , требует обоснованного выбора этих значений, т.к., с одной стороны, они должны обеспечивать достаточное функциональное резервирование основных элементов ТА (корпус, затвор, кинематическая цепь от привода к затвору), а с другой, представлять доступные расчетные и экспериментальные методы оценки этих критериев и их неперевышения в режиме постоянного либо периодического мониторинга.

*The present article starts the set of the three articles issued by the valve industry specialists of Kiev (Ukraine) being associated historically, scientifically and doing common business.*

*The first article, having among the authors the executive director of NPAA, formulates the general problem of developing of the modern criteria of valve operating conditions. The outline of the article is the necessity to revise the assessment ideology of operating conditions taking into consideration modern control and monitoring means. The suggestion is to introduce to the scientific practice the concept of «the allowable critical operable state» as well as the line of other interesting ideas.*

Критерии работоспособного состояния, характерные для всех видов, типов и конструктивных отличий (исполнений) арматуры, условно назовем общими, они изложены ниже. Частными или специальными являются критерии ТС ТА, которые характерны только для отдельных типов и (или) видов ТА.

### Общие критерии ТС ТА и их численные значения

Нижеописываемые критерии изложены без акцента на их значимость или удельный вес в обеспечении работоспособного ТС.

По нашему мнению, одним из основных является расчетный критерий безотказной работы – нормативный показатель надежности – **вероятность безотказной работы (ВБР)**.

Численное значение ВБР определяется по РД 302-07-278-89 и РД 302-07-279-89 [2, 3]. Расчет включает определение ВБР за нормируемый период эксплуатации, а также за период с начала эксплуатации, который может включать несколько нормируемых периодов.

Нормируемое или более высокое значение ВБР в течение периода эксплуатации достаточно убедительно свидетельствует о безотказности всех составляющих компонентов ТА и их достаточном функциональном резервировании в условиях протекания возможных деградиационных процессов.

Другим основным критерием ТС ТА является **критерий конструктивной прочности** основных деталей и, в первую очередь, оболочечных деталей ТА (корпус, крышка), обеспечивающих их целостность и недопущение предельных состояний.

Численное значение этого критерия описывается оптимальным распределением напряженно-деформированного состояния конструкции (НДС), т.е. такого уровня напряжений во всех сечениях и точках деталей, который бы исключил возможность образования и рост дефектов (например, трещин).

Это обеспечивается следующими условиями:

$$\sigma_{\text{действ.}} < [\sigma] \text{ либо}$$

$$\sigma_{\text{действ.}} < \sigma_1, \text{ где}$$

$\sigma_{\text{действ.}}$  – напряжение в любой точке (сечении) конструкции, в т.ч. и значение максимальных напряжений;

$\sigma_1$  – предел усталостности при симметричных циклах нагружения;

$[\sigma]$  – допускаемые напряжения, регламентируемые НД или КД на изделие; например, для конструкций атомной энергетики – ПНАЭ Г-7-002-86 [4].

Численные значения этого критерия легко вычисляются и визуализируются с помощью конечно-элементных программных комплексов (КЭ ПК) и могут контролироваться с помощью соответствующих методов НК-диагностики.

Подробное описание критериев конструктивной прочности, расчетных и приборных методов диагностики приведены в статье [5], публикуемой в этом журнале.

Третьим основным критерием является **расчетный остаточный ресурс (РОР)**. Значение РОР – величина переменная, являющейся функцией остаточного **проектного ресурса (ПОР)** ТА за оцениваемый период, например, с начала эксплуатации. ПОР определяется на период остановки, регламентируемой НД или эксплуатационной документацией. Величина РОР может обосновано увеличиваться или уменьшаться в зависимости от значений других критериев и, прежде всего, значений ВБР и максимальных напряжений в конструкциях, проявления дефектов, повреждений, отказов. Фактически **РОР является критерием технического состояния по признаку долговечности ТА**.

Нами разработана и проверена на практике методика определения (расчета) РОР. Условно ее можно свести к 4 возможным случаям (*см. таблицу*).

Для поддержания работоспособного технического состояния допускается применение только первых двух случаев, приведенных в таблице.

Методика определения РОР разрабатывалась к одному из проектов НД, регламентировавшему продление 30-летних назначенных сроков на украинских АЭС. Продление планируются на 10 лет, что составляет 25% от нового назначенного срока эксплуатации. Большинство ТА, отработавшей сроки, близкие к 30-летнему ресурсу, не исчерпывало ресурса, а значение РОР было на уровне 25-50% от регламентированного НД или ТУ ресурса.

№ п/п	Критериальная оценка ситуации	Расчетный остаточный ресурс (РОР)	Примечание
1	Дефекты, повреждения, неисправные состояния, отказы не обнаружены. ВБР соответствует КД и НД. Не нарушаются критерии конструктивной прочности; отсутствуют циклические накопления повреждений.	РОР = 1,25 ПОР	Функциональное резервирование кратно 1,25 и выше
2	Дефекты и повреждения могут возникать, но не зафиксировано их развитие в течение нормированного срока и в период всей эксплуатации; неизвестно их происхождение; ВБР соответствует КД и НД; напряжения не превышают допустимых значений. Отсутствуют циклические накопления повреждений.	РОР = ПОР	–
3	Имеются единичные отказы, но не имеется прямой связи между отказами и дефектами (повреждениями). ВБР соответствует КД и НД. Напряжение не превышает допустимые значения, отсутствуют циклические накопления повреждения.	РОР = 0,8 ПОР	–
4	Имеется тенденция роста количества дефектов и повреждений, неисправных состояний, в связи с протеканием деградиационных процессов, но без перехода событий в отказы. ВБР соответствует КД и НД. Напряжение не превышает допустимые значения, отсутствуют циклические накопления повреждения.	РОР = 0,5 ПОР	–

Полное внедрение системы оценки технического состояния ТА по критериям работоспособного состояния возможно после разработки комплекса НД и соответствующих методик диагностики. После их внедрения может отпасть необходимость нормировать назначенные показатели, т.к. будут фигурировать конкретные критерии обеспечения работоспособного состояния, в т.ч. и показатели надежности.

*Как известно, назначенные показатели не являются, строго говоря, показателями надежности, а являются по определению [1] технико-эксплуатационными характеристиками объекта. Обычно назначенные показатели применяют в тех случаях, когда численные показатели надежности либо трудно подтвердить экспериментально, либо отсутствуют данные по надежности для подобных изделий, либо не известно поведение системы, в т.ч. и ТА, в процессе эксплуатации. В таких случаях применение назначенных показателей является целесообразным, а их назначение является хотя и риском разработчика, но оправданным.*

*Какие негативные последствия применения назначенных показателей?*

*Во-первых, по истечению, например, назначенного срока службы, даже при исправных работоспособных системах (в т.ч. ТА, например, на АЭС) производится очень дорогостоящая и длительная процедура переназначения назначенного срока службы, его продления, часто сопровождающаяся необоснованной разборкой ТА. Например, стоимость работ и продление назначенного срока службы с 30 до 40 лет, включая подготовительные работы, одного энергоблока АЭС составляет миллионы долларов США.*

*Во-вторых, до издания НП-068-05 вместо ОТТ-87, почти для всей арматуры АЭС существовало два назначенных срока: для корпусных деталей (30 лет) и для «выемных» деталей ТА (10 лет). Последнее обстоятельство вообще было грубой ошибкой.*

*Это противоречило смыслу ГОСТ 27.002-89, т.к. любые показатели надежности и назначенные показатели должны относиться к объекту (ТА), а не к его частям. С другой стороны, меньший назначенный срок «выемных» деталей через каждые 10 лет вынуждал производить процедуру продления сроков с разборкой ТА в условиях, далеких от заводских, не говоря о том, что каждая навязанная разборка снижала работоспособность изделий.*

*И если в атомной промышленности это частично исправлено (НП-068-05), то в НД ОАО «Транснефть» (ОТТ-75.180.00-КТН-274-06) 2006 года издания опять регламентируется «срок службы «выемных частей» — не менее 15 лет, при назначенных 30 годах для арматуры в целом.*

*Поэтому одно из главных требований к надежности ТА как к объекту является недопустимость его дробления и установления для дробных частей объекта назначенных показателей. Ведь внутренние части (которые называют «выемными») могут быть на самом деле вовсе и не выемными (например, запрессованные направляющие втулки, подшипники скольжения). К тому же такие критерии отказов, как потеря герметичности в затворе, либо заклинивание подвижных частей, и соответствующие этим отказам предельные состояния быстрее наступают при частых необоснованных разборках, инициируемых более короткими назначенными сроками.*

*Понятно, что одним махом «отменить» назначенные показатели нельзя, хотя имеется значительный опыт эксплуатации ТА в атомной и тепловой энергетике, в газо- и нефтяной отраслях, химии, металлургии. К сожалению, неизвестны работы в области обобщения этих бесценных данных.*

Четвертым основным критерием работоспособного ТС ТА является герметичность в затворе и относительно внешней среды (по корпусным деталям, включая сварные швы, прокладочные соединения, сальники).

Численные величины протечек задаются КД или НД. Наиболее эффективным инструментальным методом диагностики протечек в процессе эксплуатации является метод акустической эмиссии (АЭ). Методика измерения протечек, как в затворе, так и относительно внешней среды предполагает возможные измерения одними и теми же АЭ-датчиками, установленными на корпусе, патрубках, а также вблизи прокладок и сальника по специальной схеме, индивидуальной для каждого вида, типа, размера арматуры и др. факторов.

Пионером в создании и развитии измерений протечек методами АЭ является американская фирма PAC (PHYSIKAL ACOUSTICS CORPORATION), а также эксклюзивный ее дилер — компания «ДИАПАК» (г. Москва). Не меньших успехов в диагностике протечек достигла фирма «А-ЭмД» (г. Киев). В настоящее время фирмой «А-ЭмД» совместно с ООО «НИИЦА» проводятся работы по идентификации протечек в различных типах арматуры. Интерес представляет и тот факт, что методы, а также аппаратура, разработанные фирмой «А-ЭмД», позволяют обнаружить ранние стадии разрушения уплотнительных элементов до появления протечек.

В данной статье не ставилась задача дать обзор частным (специальным) критериям ТС ТА, характерным только для отдельных видов и типов арматуры.

Упомянем лишь некоторые из этих критериев:

1. Для запорной, регулирующей ТА — критерий стабильности передаваемого момента (усилия) от привода к затвору.
2. Для предохранительной ТА — стабильность значений давления начала срабатывания, полного открытия (1,15 Pp) и обратной посадки.
3. Для регулирующей, в т.ч. и дроссельной ТА — отсутствие кавитации и другие специальные критерии и т.д.

Планируется в разрабатываемый стандарт НПАО 002-2008 ввести раздел: «О техническом состоянии трубопроводной арматуры с указаниями критериев работоспособного технического состояния ТА, их значений, методов их определения и диагностики в процессе эксплуатации».

#### ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

1. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
2. РД 302-07-278-89 Арматура трубопроводная. Порядок нормирования и контроля показателей надежности.
3. РД 302-07-279-89 Арматура трубопроводная. Методика оценки надежности по результатам испытаний и (или) эксплуатации.
4. НПАО Г-7-002-86 Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.
5. Ананьевский В.А., Луговской С.В. «Прочностные критерии работоспособного состояния нагруженных деталей трубопроводной арматуры АЭС. Методы расчетной и НК-диагностики (см. стр. 69).