**РАСЧЕТ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ТУ**

Остаточный ресурс оборудования - суммарная наработка оборудования (в часах, кубометрах, гектарах, километрах, тоннах, циклах и т.п.) от момента проведения контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

Предельное состояние - состояние оборудования, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Расчет остаточного ресурса: от 5 дней

Основанием для принятия решения о возможности и условиях дальнейшей эксплуатации технического устройства (оборудования) являются результаты оценки его остаточного ресурса. Работоспособное техническое устройство может перейти в предельное состояние, если дальнейшее применение по назначению станет недопустимым в соответствии с требованиями безопасности, экономичности и эффективности. Достижение предельного состояния не сводится только к физическому износу. Как видно из определения, переход в предельное состояние может быть также обусловлен влиянием факторов функционального устаревания.

Обычно при достижении предельного состояния техническое устройство выводится из эксплуатации. Это не означает, что стоимость объекта, достигшего предельного состояния, равна нулю. Как показал анализ литературы (и это подтвердилось нашими исследованиями), стоимость объекта, достигшего предельного состояния, обычно составляет 10-20 процентов от начальной стоимости. Эта стоимость может включать стоимость оставшихся деталей, материалов и т.п.

**РАСЧЕТ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОБОРУДОВАНИЯ ПОДНАДЗОРНОГО РОСТЕХНАДЗОРУ**

Законодательно установлено, что расчет остаточного ресурса обязателен для объектов подназорных Ростехнадзору (в составе экспертизы промбезопасности), для иных технических устройств эта процедура не обязательна. Данное требование исходит из статьи 7 Федерального закона №116-ФЗ, в котором указанно:

Если техническим регламентом не установлена иная форма оценки соответствия технического устройства, применяемого на опасном производственном объекте, обязательным требованиям к такому техническому устройству, оно подлежит экспертизе промышленной безопасности:

* по истечении срока службы или при превышении количества циклов нагрузки такого технического устройства, установленных его производителем;
* при отсутствии в технической документации данных о сроке службы такого технического устройства, если фактический срок его службы превышает двадцать лет;

Напоминаем, что проведение расчета остаточного ресурса оборудования входит в экспертизу промышленной безопасности и является ее частью. В связи с тем, что законодательство можно толковать по разному, попробуем разъяснить смысл данной статьи. На первый взгляд кажется, что если техническое устройство попадает под действие технического регламента, расчет остаточного ресурса проводить в выше указанных случаях не надо. Это не совсем верно по двум причинам:

* Причина 1. Данный пункт распространяется только на новые технические устройства и имеющие сертификат в соответствии с техническим регламентом. Устройства бывшие в эксплуатации сертифицировать нельзя.
* Причина 2. В технических регламентах не содержится иная форма оценки технических устройств по истечению нормативного срока эксплуатации, данные требования указанны во ФНиП, РД, ПБ, ГОСТ и т.п. По этому, как только истечет нормативный срок эксплуатации или срок службы превысит 20 лет, то данным техническим устройствам нужно рассчитывать остаточный ресурс.

ВАЖНО: Технические устройства (оборудование) бывают подназорные и не подназорные Ростехнадзору. В случае, если оборудование поднадзорно Ростехнадзору, то провести расчет остаточного ресурса недостаточно. В этом случае проводится экспертиза промышленной безопасности с целью продления нормативного срока эксплуатации оборудования, в которую будет входить расчет остаточного ресурса.

**КАКИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ПОДНАЗОРНЫ РОСТЕХНАДЗОРУ**

Основным законом, регулирующим деятельность в области промышленной безопасности является Федеральный закон №116-ФЗ, который касается только опасных производственных объектов. Если ваш объект не попадает под действие Федерального закона №116-ФЗ и отсутствуют опасные производственные объекты, то поднадзорного оборудования у вас нет.

В случаях, когда вы имеете опасный производственный объект, необходимо понять имеет или не имеет признак опасности техническое устройство, входящее в состав данного объекта. Нормативных актов в этой области много, поэтому приведем алгоритм, по которому можно определить поднадзорно техническое устройство или не поднадзорно.

* Этап 1. Найдите параметры технического устройства (давление, температура, среда, грузоподъемность, тип). Данные параметры содержатся в паспорте технического устройства;
* Этап 2. Найдите Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности (далее ФНиП ПБ), регламентирующие эксплуатацию данного технического устройства;
* Этап 3. Определите, попадает ли техническое устройства под действие данных ФНиП ПБ. В данных нормативных правовых актах четко указано на что распространяется данный нормативный акт, а на что не распространяется. Если техническое устройство входит в список исключений, то устройство не поднадзорно;  
  Пример: Статья 2, 3 и 4 ФНиП ПБ "Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением".
* Этап 4. Найдите во ФНиП ПБ раздел и(или) пункт по постановке на учет данного типа технических устройств. В данном разделе может содержаться следующая информация "Не подлежат учету в органах Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору следующие...", ваше техническое устройство может оказаться в этом списке. Данный пункт может отсутствовать во ФНиП ПБ.  
  Пример: Статья 148 "ФНиП ПБ "Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения".

Вывод: Если ваше устройство по параметрам является опасным и оно не содержится в списке исключений, то устройство поднадзорно Ростехнадзору. Рассчитывать остаточный ресурс необходимо в соответствии с нормативными актами в области промышленной безопасности.

Примечание: Газопроводы являются техническими устройствами, так считают в Ростехнадзоре. Газопровод является опасным по давлению и обращению опасного вещества, при этом объем вещества не учитывается.

**КОГДА НАДО РАССЧИТЫВАТЬ ОСТАТОЧНЫЙ РЕСУРС ОБОРУДОВАНИЯ**

Необходимость определения остаточного ресурса оборудования возникает при следующих обстоятельствах:

1. Продление нормативного срока службы оборудования.

В случае, когда технической документацией на оборудование (проектной, исполнительной и эксплуатационной) установлен нормативный срок безопасной эксплуатации, и данный срок подошел к концу, можно продлить нормативный срок безопасной эксплуатации, проведя расчет остаточного ресурса. Работы по продлению срока эксплуатации технических устройств (оборудования) рекомендуется планировать и проводить таким образом, чтобы соответствующее решение было принято до достижения ими нормативно установленного срока эксплуатации.

ВАЖНО: Если оборудование поднадзорно Ростехнадзору и в документации отсутствует нормативный срок эксплуатации, то нормативный срок эксплуатации устанавливается 20 лет.

2. Определение рыночной стоимости оборудования.

Когда необходимо проводить оценку стоимости оборудования, решает заинтересованное в данной оценке лицо. В данном случае, расчет остаточного ресурса может показать реальную картину состояния оборудования и возможных будущих трат. Расчет остаточного ресурса выявляет оборудование, которое не целесообразно использовать и ремонтировать. Необходимо подчеркнуть, что нормативный срок службы определяется при эксплуатации в определенных условиях и может не отражать фактического состояния оборудования.

В совокупности эксплуатация котлов в предельных режимах эксплуатации или с нарушениями (перегревом) приводит к значительному износу оборудования и росту амортизационные затраты. Это будет влиять на рыночную стоимость оборудования.

3. Использование оборудования в экстремальных условиях.

Производители оборудования указывают в документации, какие условия эксплуатации являются допустимыми. Если оборудование эксплуатируется за границами допустимых условий, происходит сверхнормативный износ оборудования, что уменьшает нормативный срок эксплуатации. Фактический износ оборудования и остаточный ресурс его можно определить, только, проведя расчет остаточного ресурса.

4. По требованию представителя Ростехнадзора.

Представитель Ростехнадзора при проведении плановой или внеплановой проверки опасного производственного объекта, в соответствии с частью 1 статьи 9 Федерального закона №116-ФЗ имеет право выписать предписание Ростехнадзора, которое обязывает провести экспертизу промышленной безопасности, а следовательно провести расчет остаточного ресурса. Решение принимается на основе визуальной и документарной проверки технического устройства.

5. В случае аварии и повреждения технического устройства.

Когда на опасном производственном объекте происходит авария и техническое устройство в следствии аварии было повреждено, требуется провести экспертизу промышленной безопасности, а следовательно провести расчет остаточного ресурса. Данная норма установлена пунктом 2 статьи 7 Федерального закона №116-ФЗ.

**ЭТАПЫ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ**

Основой для прогнозирования остаточного ресурса служит следующая информация:

1. диагностические данные о состоянии объекта, данные текущего оперативного контроля в процессе эксплуатации;
2. данные о нагрузках и условиях воздействия окружающей среды на объект;
3. экспериментальные сведения об элементах, определяющих ресурс.

На основе полученных данных необходимо выполнить расчеты, приведенные в таблице.

| **Этап** | **Цель** | **Задача** |
| --- | --- | --- |
| 1. | Проверка работоспособности конструкции по базовым параметрам | Расчет допустимых толщин стенок или допустимых напряжений с использованием коэффициентов запаса по напряжениям |
| 2. | Выявление «зон разрушения» | Расчет НДС конструкции численными методами с учетом особенностей геометрии |
| 3. | Анализ предельных состояний «зон разрушения» | Расчет НДС в локальных зонах, анализ процессов деформирования и разрушения в локальных зонах с использованием коэффициентов запаса по деформациям, размерам дефектов и трещиностойкости |
| 4. | Оценка ресурса до достижения предельных состояний | Расчет усталостной долговечности, циклической трещиностойкости с использованием коэффициентов запаса по долговечности |
| 5. | Оценка риска разрушения | Расчет вероятности разрушения и ущерба от аварии, вызванной разрушением |

**МЕТОДЫ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ТЕХНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА  (ОБОРУДОВАНИЯ)**

Существует два метода расчета остаточного ресурса оборудования: метод использования математических моделей и метод экспертных оценок. Данные методы могут применяться, как дифференцировано, так и вместе. При этом необходимо подчеркнуть, что при принятии решения о величине остаточного ресурса технического устройства (составных частей и агрегатов) и сроках дальнейшей безопасной эксплуатации основным методом является экспертный.

**МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

Математические методы определения остаточного ресурса могут использоваться при соблюдении всех этих условий. Разработаны математические и статистические методы определения остаточного ресурса при малоцикловых нагрузках, по измерениям контролируемого параметра, а также остаточный ресурс составных частей машин и другие. Все это делается путем применения стандартизированных методик. Общая концепция математической модели такова, что для определения остаточного ресурса оборудования необходимо соблюдать ряд условий:

1. Необходимо знать определяющие параметры технического состояния (далее - ПТС) оборудования.
2. Должно быть известно, по каким критериям определяется предельное состояние оборудования.
3. Должна быть возможность постоянно или периодически контролировать изменения значений  ПТС.

Плюсом математических методов является отсутствие человеческого фактора при оценке остаточного ресурса. Существенный недостаткок данного метода заключается в не достаточной точности при определенных обстоятельствах. Соблюсти все условия можно лишь в случаях, когда речь идет о техническом устройстве, предельное состояние которого наступает в результате коррозионных или иных деградационных процессах материала. Если речь идет об образовании трещин и тому подобных дефектов (несплошностей), то остаточный ресурс в данном случае не представляется расчитать с помощью математической модели, а его определение происходит с помощью метода экспертных оценок.

**МЕТОД ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК:**

Сущность данного метода заключается в проведении экспертами интуитивно-логического анализа проблемы с количественной оценкой суждений и обработкой результатов. Получаемое в результате обработки обобщенное мнение экспертов принимается как решение проблемы. Алгоритм экспертного обследования технических устройств (оборудования) заключается в следующем:

1. Анализ повреждений, установление механизма их возникновения, определяющих параметр фактического технического состояния.
2. Анализ повреждений и параметров технического состояния, проводимого на основании полученных данных при рассмотрении технической документации, оперативной диагностики и экспертном обследовании, установление текущего технического состояния, уровня и механизмов повреждения, фактической нагруженности, необходимых для прогнозирования развития этого состояния, в соответствии с установленными закономерностями основных механизмов повреждения, до достижения параметров технического состояния значений, при которых техническое устройство переходит в предельное состояние.
3. Установление закономерностей изменения определяющих параметров технического состояния, предельных состояний и их критериев.
4. Обоснование вариантов решений о возможности дальнейшей эксплуатации технического устройства.
5. Заключение.

**МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА**

Выбор метода прогнозирования остаточного ресурса зависит от условий эксплуатации, характера преобладающего процесса деградации (изнашивания, коррозии, усталости, ползучести и др.), необходимой точности и достоверности прогноза, а также от технических возможностей реализации метода. В основе механизма выбора метода - требуемый объем диагностических мероприятий и достаточно надежная система экспертной оценки результатов. При невысоких требованиях к точности и достоверности применяются упрощенные методы. В случае необходимости гарантированных оценок используются уточненные методы, в том числе, базирующиеся на теории надежности.

Оценка работоспособности оборудования по результатам диагностических обследований обычно осуществляется путем выявления возникших повреждений, определения их величины и сопоставления с их предельно допустимыми нормативными значениями. Выявленные дефекты относят к допустимым или недопустимым и принимают решение о возможности дальнейшей эксплуатации, необходимости ремонта оборудования, его модернизации или утилизации.

**I. ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПО ЦИКЛАМ НАГРУЖЕНИЯ.**

При эксплуатации емкостных конструкций энергетических установок, например, сосудов, фактически действующие нагрузки и напряжения в их элементах отличаются от расчетных, могут возникать различные повреждения, которые создают дополнительные концентрации напряжений. Поэтому при оценке остаточного ресурса сосудов необходимо проведение исследования их циклического напряженного состояния с учетом имеющихся концентраторов напряжений для определения фактического и допускаемого числа циклов нагружения. Остаточный ресурс определяется вычитанием из допускаемого числа циклов нагружения их фактического значения.

Такой метод применим для оценки остаточного ресурса барабанов котлов, аккумулирующих баков, теплообменных аппаратов, различных сосудов, работающих под давлением и с тепловой нагрузкой. Данная методика не может быть рекомендована для оценки остаточного ресурса сосудов при наличии в их элементах дефектов типа раковин и трещин.

**II. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОБОРУДОВАНИЯ ПО ИЗМЕНЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ.**

Этот метод расчета остаточного ресурса используется для прогнозирования изнашивания и других монотонных процессов ухудшения технического состояния узлов и агрегатов машин, оборудования и приборов. Он заключается в получении (экспериментально или аналитически) функции, характеризующей процесс изменения параметра технического состояния при всех возможных вариантах его изменения. Остаточный ресурс определяется как отношение величины параметра технического состояния к моменту контроля к его предельному значению с учетом нормативного отклонения. Данная методика может быть рекомендована, если изменение ПТС к моменту контроля составляет не менее половины предельного отклонения параметра. В этом случае погрешность прогнозирования не превышает 8-9%.

**III. ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПО ИЗМЕНЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ.**

В тех случаях, когда технологические показатели оборудования (давление, температура, расход теплоносителей и пр.) монотонно изменяются во времени (по наработке), для прогнозирования остаточного ресурса может быть применена статистическая методика, использующая при обработке материалов законы изменения технологического параметра с оценкой соответствующих показателей на базе метода наименьших квадратов. Алгоритм разработан для линейного, квадратичного и экспоненциального законов изменения показателя назначения. Данная методика может быть рекомендована для оценки остаточного ресурса цилиндров компрессора, теплообменных аппаратов, насосов, трубопроводов и др.

**IV. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПО РАЗВИТИЮ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ.**

Заключается в проведении периодических обследований оборудования, при которых должны быть проведены измерения в точках, равномерно распределенных по поверхности, максимальной глубины коррозии. По результатам замеров выполняется расчет скорости коррозии.

Данная методика может быть рекомендована для оценки остаточного ресурса больших поверхностей оборудования, находящихся в одинаковых условиях эксплуатации и образования коррозии. Если невозможно измерить глубину коррозии на всех участках обследуемой поверхности, то измерения осуществляют выборочно. Для участков поверхности, существенно отличающихся по условиям эксплуатации и образования коррозии (местные перегревы, повышенные скорости технологической среды и т.п.), применение данного метода нецелесообразно, так как неравномерность коррозии и ее глубина и будут зависеть главным образом от различий этих условий.

**V. ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПО ИЗМЕНЕНИЮ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ.**

Контролируя изменение таких параметров, как производительность, коэффициент полезного действия, уровень вибрации и шума, величина утечки через уплотнения, можно по мере приближения их значений к предельно допустимым прогнозировать момент наступления отказа.

Методика заключается в оценке остаточного ресурса путем статистической обработки значений измеренных параметров технического состояния. Ее использование дает удовлетворительную погрешность прогнозирования, если продолжительность наблюдений составляет не менее  20% от ожидаемой наработки до предельного состояния. При этом число измерений в ходе испытаний для монотонных процессов зависит от доверительной вероятности и допустимой ошибки, а для немонотонных составляет не менее 100.

**VI. ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПО ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ.**

Методика заключается в определении скорости наружной коррозии, которая зависит от эквивалентной рабочей температуры, приведенного напряжения в стенке конструкции и доли использования ресурса, равной отношению срока эксплуатации элемента ко времени до его разрушения.

Данная методика может быть рекомендована для оценки остаточного ресурса оборудования, эксплуатирующегося при высоких температурах, например трубчатых систем теплообменных аппаратов, радиационных поверхностей нагрева, корпусных деталей топки котла и т.п.

**VII. ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПО ПРИВЕДЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЯМ И ЭКВИВАЛЕНТНОМУ ДАВЛЕНИЮ.**

Расчет ведется по одному из известных эксплуатационных параметров: приведенным напряжениям, эквивалентной температуре, эквивалентному давлению, эквивалентной наработке. Вид зависимостей определяется формой образцов и материалом, из которого они выполнены. Данная методика может быть рекомендована для оценки остаточного ресурса змеевиковых теплообменников и коллекторов котла, трубопроводных систем.

**VIII. ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПО КОЭФФИЦИЕНТУ АСИММЕТРИИ НАГРУЖЕНИЯ.**

При несимметричных нагрузках расчет заключается в определении коэффициента асимметрии нагружения, который зависит от температурных колебаний, числа циклов для режимов пусков-остановов, возможности теплового и гидроудара в процессе эксплуатации. При этом оценка остаточного ресурса дается по величине накопленных повреждений в металле.

Данная методика позволяет проводить лишь приближенную оценку остаточного ресурса и может быть рекомендована для оборудования и его элементов, подвергающихся несимметричным нагрузкам.

**IX. ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПРИБОРНЫМИ МЕТОДАМИ.**

В последние годы наряду со средствами неразрушающего контроля применяют встроенные приборы, предназначенные для непосредственной оценки остаточного ресурса. Это счетчики ресурса, индикаторы нагруженности и датчики повреждений цифрового и аналогового типов. К первому типу относятся устройства, основу которых составляют микропроцессоры, бортовые ЭВМ и т.п. Они фиксируют в цифровой форме историю нагружения данного конструктивного элемента, например, последовательность деформаций при циклическом нагружении.

Основу счетчиков аналогового типа составляют чувствительные элементы - датчики, установленные на объекте и подвергаемые тем же воздействиям, что и исследуемый объект. Вследствие возникающих в датчике необратимых повреждений его рабочие параметры меняются. Измеряя эти параметры, можно сделать выводы о степени повреждения соответствующего узла, агрегата или детали. В качестве чувствительных элементов используют проволочные, фольговые или полупроводниковые тензорезисторы.