

**Черепанов Анатолий Петрович,**

д.т.н., профессор, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: boning89@mail.

**Никанорова Людмила Викторовна,**

ст. преподаватель, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: nikaludmila@mail.ru

**Лосева Марина Викторовна,**

ст. преподаватель, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: lmv2805@mail.ru.

## **ПОТОЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕСУРСНО - ПРОЧНОСТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОСУДОВ**

**Cherepanov A.P., Nikanorova L.V., Loseva M.V.**

## **THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF THE RESOURCE - STRENGTH RESEARCH VESSEL**

**Аннотация.** В статье рассмотрена и обоснована поточная технология проведения оценки технического состояния и прогнозирования ресурса сосудов на основе ресурсно - прочностных исследований по результатам технического диагностирования, направленная на обеспечение надежности и безопасности эксплуатации оборудования в целом.

**Ключевые слова:** безопасность, прогнозирование, прочность, ресурс, сосуд, экспертиза.

**Abstract.** The article substantiates and considers the concept of predicting the life of vessels on the basis of resource-strength studies on the results of technical diagnosis, aimed at ensuring the reliability and safety of equipment operation as a whole.

**Keywords:** safety, forecasting, strength, resource, vessel, expertise.

Организационно-технические мероприятия по оценке технического состояния (ТС) сосудов и его составных частей, поиску дефектов, изношенных узлов, деталей и элементов представлены в работах [1]. Там же отмечается, что традиционные методы обеспечения надежности, основанные на системе планово - предупредительных ремонтов ведут, как правило, к большим материальным и финансовым издержкам. Уменьшение затрат на техническое обслуживание и поддержание сосудов в исправном состоянии применением технического диагностирования (ТД) позволяет более точно устанавливать сроки и объем работ по их обслуживанию и ремонту, исключить ненужные разборочные и сборочные работы, выявить и проконтролировать основные эксплуатационные показатели.

В результате анализа современного состояния технологии экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ), основанной на результатах ресурсно-прочностных исследований (РПИ) и ТД сосудов, установлено следующее:

- отсутствуют показатели эффективности и достоверности ТД с учетом группы или класса опасности, что существенно влияет на точность оценки ресурса сосудов;

- отсутствуют показатели сравнения результатов прочностных расчетов и ресурса на моменты проектирования, изготовления и ТД при окончании назначенного срока эксплуатации;

- в нормативных документах отсутствуют методы определения запасов прочности и методы их сравнения на моменты проектирования, изготовления и ТД;

- технический контроль, проводимый заводом-изготовителем, не в полной мере отражает ТС, а ресурс сосудов назначается независимо от него;

- отсутствуют научно обоснованные нормативы оценки трудоемкости ТД в зависимости от эффективности и достоверности его проведения с учетом группы или класса опасности технического устройства.

Научное обоснование предложенного подхода позволило разработать метод РПИ при ЭПБ сосудов, котлов, резервуаров и трубопроводов. Данный метод в комплексе решает следующие задачи:

- определение ресурса на основе данных фактического ТС на стадии изготовления сосудов;

- выбор оптимальных толщин стенок при проектировании на заданный ресурс эксплуатации;

- повышение точности и достоверности оценки ресурса на основе анализа запасов прочности и отдельных элементов сосудов;

- повышение точности и достоверности оценки ресурса в зависимости от эффективности с учетом полноты и достоверности ТД в зависимости от группы или класса сосудов;

- оценка показателей качества и надежности изготовленного сосуда с учетом эффективности ТД;

- выбор наиболее эффективных методов и объемов ТД, обеспечивающих качество, надежность и долговечность сосудов на заданный ресурс;

- оценка трудоемкости ТД и объемов его проведения в зависимости от эффективности и достоверности его проведения с учетом группы или класса опасности сосудов.

Анализ показал, что в настоящее время в Российской Федерации пока нет общепринятой концепции и нормативов, определяющих порядок и практические методы продления срока службы оборудования. Существует только апробированная схема определения остаточного ресурса потенциально опасных объектов [2].

При сложившейся за последнее десятилетие практике для снижения простоя оборудования ЭПБ совмещают во времени с остановочным ремонтом производственных объектов и технологических установок, как это рекомендовано [3]. Препятствием является отсутствие единых правил комплексного построения технологического процесса экспертизы. Существующие технологические процессы касаются в основном ТД, а задачи РПИ и разработки техниче-

ских заключений ЭПБ в комплексе с восстановлением изношенных элементов, деталей, узлов и сосудов в целом, решаются индивидуально.

В работе [4] отмечалось, что комплекс работ по ТД включает три основных задачи.

Первая задача направлена на оценку фактического технического состояния оборудования проведением ТД.

Вторая задача состоит в анализе закономерностей изменения параметров ТС, включающих расчет режимов работы, исследование напряженно-деформированного состояния, оценку вероятности хрупкого разрушения, ползучести, циклической усталости и выбор критериев предельных состояний.

Третьей задачей являются расчетно-аналитические процедуры, включая РПИ, проводимые для продления сроков эксплуатации сосудов, и разработку заключений экспертизы ПБ с назначением их ресурса.

Концепция прогнозирования ресурса на основе РПИ по результатам ТД направлена на обеспечение безопасности сосудов [5]. Такой подход, в дальнейшем, позволит решать поставленные задачи с наименьшими затратами времени на экспертизу ПБ в целом, включая не только ТД, но и РПИ, разработку рекомендаций на ремонт, прогнозирование ресурса и разработку заключений экспертизы с назначением ресурса сосудов.

Выполнение работ по ЭПБ с наименьшими временными и финансовыми затратами требует и соответствующей организации технологического процесса, однако, методические разработки, приведенные выше, вопросы технологии ЭПБ практически не рассматривают. Не рассмотрены так же задачи ЭПБ и при изготовлении сосудов. Система технического контроля, проводимого заводскими службами сегодня не отвечает требованиям ЭПБ. Для выполнения этих требований необходимо совершенствование технологии изготовления и контроля сосудов с одновременным проведением ЭПБ. Как показали исследования литературы и нормативов, вопросы технологии ЭПБ в них практически не освещены.

В работах [4, 5] было показано, что ТД и РПИ являются частью технологического процесса, обеспечивающего качественное изготовление и безопасную эксплуатацию сосудов, который должен быть единым и охватывать весь цикл работ по проведению ЭПБ в период остановочного ремонта с целью сокращения простоя технологических установок.

На рисунке 1 представлена схема поточного технологического процесса проведения комплекса ТД и РПИ, ремонта и ЭПБ типичного представителя оборудования - единичного сосуда, включающая:

- время подготовки к ТД и ремонту (подготовительное);
- время проведения ТД, РПИ и ремонта (основное);
- время подготовки к эксплуатации (заключительное).

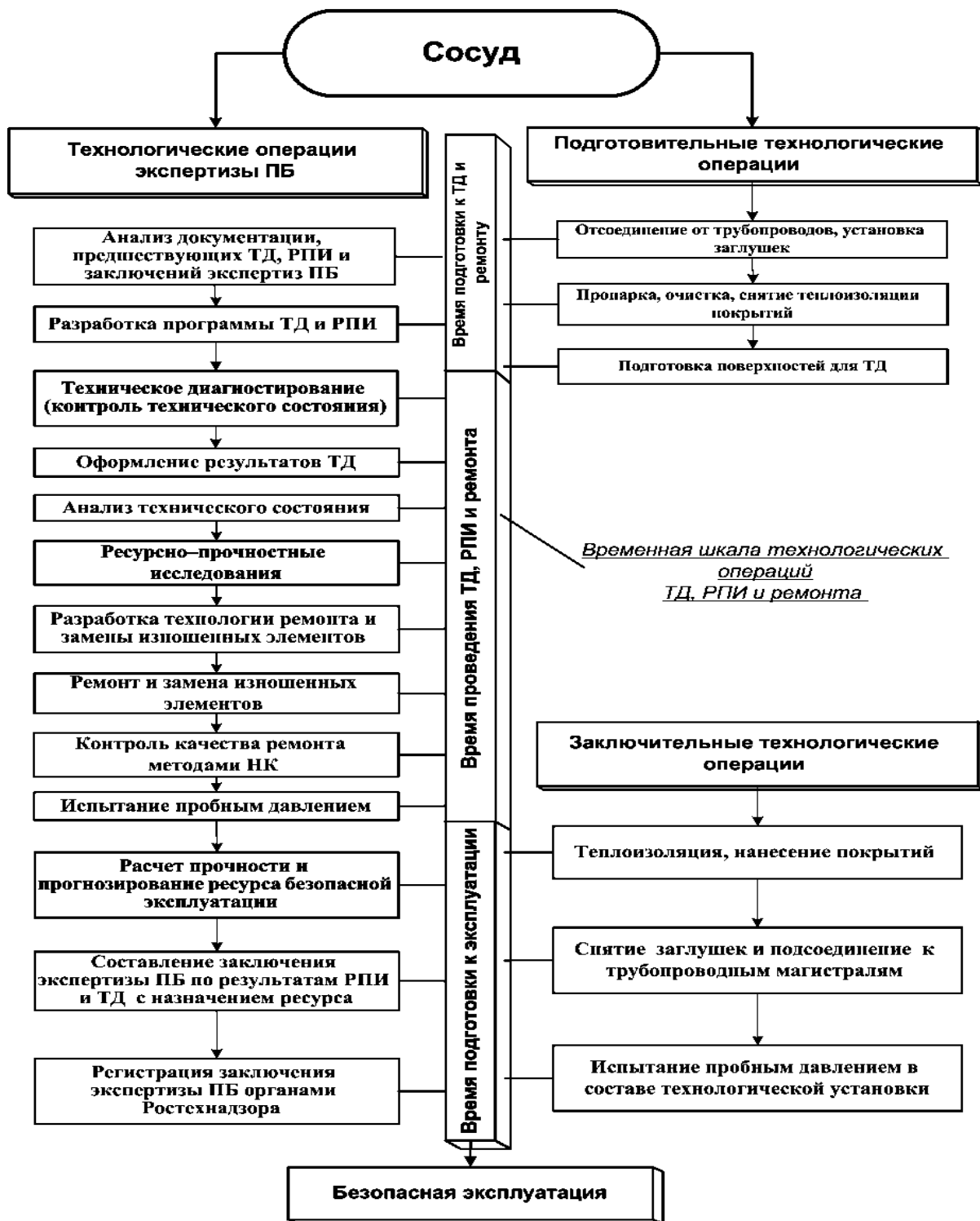


Рисунок 1 - Схема поточного технологического процесса ремонта и экспертизы промышленной безопасности сосудов

В соответствии со схемой (рисунок 1) подготовительное время используется на отсоединение сосудов от трубопроводных магистралей, установку заглушек, пропарку, снятие изоляции. Для доступа внутрь открывают люки и крышки или проводят частичную разборку. Поверхности очищают, и подготавливают для ТД. С операциями по подготовке к ТД совмещаются подготовительные операции, включая анализ технической документации, результатов предшествующих ТД, РПИ и заключений ЭПБ.

На основе анализа разрабатывается программа работ, определяются виды ТД, РПИ, объемы и последовательность их проведения. Одновременно ведут подготовку приборов, стендов, персонала для проведения ТД. По окончании подготовительных работ начинается основное время ТД, РПИ и ремонта.

При ТД последовательность технологических операций включает выбор оптимального маршрута, подготовительные операции, разборку, демонтаж, подготовку поверхностей, сварных швов, которые проводят по нормативам [6]. Результаты ТД отражают в актах, протоколах, заключениях, регламентированных нормативами по ЭПБ [7]. Методами неразрушающего контроля выявляют изношенные элементы сосудов. Поскольку обнаруженные дефекты, их опасность и влияние на ресурс должны быть определены и устранены в период ремонта, в течение этого же периода необходимо проведение прочностных расчетов, РПИ и разработка мероприятий по ремонту, замене или усилению ослабленных элементов. Разрабатывают ремонтные чертежи, предусматривающие замену или усиление изношенных элементов, составляют технологию ремонта и проект производства ремонтных работ. Проводят ремонт, контролируют качество ремонта повторным проведением ТД, в том числе определяют фактические размеры (толщины и сечения) установленных и усиленных элементов.

Контроль качества ремонта и сборки завершается испытанием сосудов пробным давлением в соответствии с [8]. Положительными результатами испытания пробным давлением подтверждается пригодность сосудов к эксплуатации. Далее проводятся заключительные технологические операции подготовки сосудов к эксплуатации, включающие нанесение защитных покрытий, теплоизоляции, снятие заглушек, подсоединение сосудов к трубопроводным магистралям и испытание пробным давлением всей технологической установки.

За этот же период времени проводятся расчеты прочности, подтверждающие пригодность сосудов к дальнейшей эксплуатации. В дополнение к основным прочностным расчетам проводят расчеты прочности и устойчивости элементов с учетом ненормированных повреждений методами оценки предельных состояний:

- искажений формы;
- локальных изменений характеристик механических свойств конструкционных материалов;

- образования и развития поверхностных трещин [2].

Прогнозируют ресурс безопасной эксплуатации и составляют заключение ЭПБ с назначением срока безопасной эксплуатации сосудов [7]. При положительных результатах выдается разрешение на эксплуатацию, а заключение экспертизы направляется в органы Ростехнадзора на регистрацию [9].

Последовательность технологических операций РПИ включает:

- расчеты прочности по исходным размерам и толщинам, которые имели элементы, детали и узлы на момент изготовления;
- расчеты прочности по фактическим размерам и толщинам элементов, деталей и узлов, определенным при ТД;
- оценку запасов прочности по исходным размерам и толщинам, которые имели элементы, детали и узлы на момент изготовления;
- оценку запасов прочности по фактическим размерам и толщинам элементов, деталей и узлов, определенным при ТД;
- определение скоростей и степени износа элементов, деталей и узлов;
- определение необходимости замены или усиления элементов, деталей и узлов, наиболее изношенных и имеющих дефекты;
- разработку рекомендаций по замене или усилению изношенных и имеющих дефекты;
- определение ресурса замененных или усиленных элементов [5].

При этом определяется целесообразность демонтажа или разборки для обеспечения доступа к некоторым участкам и сварным швам.

Следующим этапом является РПИ, которое проводят по результатам анализа фактического ТС сосудов.

Схема проведения ресурсно-прочностных исследований сосудов, представленная на рисунке 2, предусматривает последовательность операций, которые включены в поточный технологический процесс ремонта и ЭПБ. Слева показаны типовые расчеты, проводимые по стандартам, нормам или методикам, а справа - расчеты, касающиеся оценки запасов прочности, показателей скорости и степени износа.

Далее задается последовательность технологических операций, включая составление программ ТД, выбор оптимального маршрута, подготовительные операции, разборку, демонтаж, подготовку поверхностей, сварных швов для выполнения визуально измерительного и дефектоскопического контроля.

Схема алгоритма поточного технологического процесса ремонта и экспертизы промышленной безопасности сосудов показана на рисунке 3. Последовательность технологических операций, заданных алгоритмом осуществляется в соответствии с нумерацией блоков.

При этом определяется целесообразность демонтажа или разборки для обеспечения доступа к некоторым участкам и сварным швам, последовательность технологических операций, включая составление программ ТД, выбор оп-

тимального маршрута, подготовительные операции, разборку, демонтаж, подготовку поверхностей, сварных швов для выполнения визуально измерительного и дефектоскопического контроля.

Проводят анализ технической документации, эксплуатационных параметров и предыдущих ТД (блок 1) на основе которых аккумулируют, вводят сведения из паспорта сосуда, схемы его включения, сертификатов примененных материалов, рабочих чертежей в карту исходных данных.



Рисунок 2 - Схема проведения ресурсно-прочностных исследований сосудов

С учетом основных конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов устанавливают долю ресурса, исчерпанного на предшествующих стадиях эксплуатации, или по окончании назначенного ресурса. Определение риска при разрушении (блок 2) характеризуется группой или классом сосудов, которые соответствуют классу опасности применяемых или хранимых веществ.

Следующим этапом (блок 3) разрабатывают программу работ по ТД и

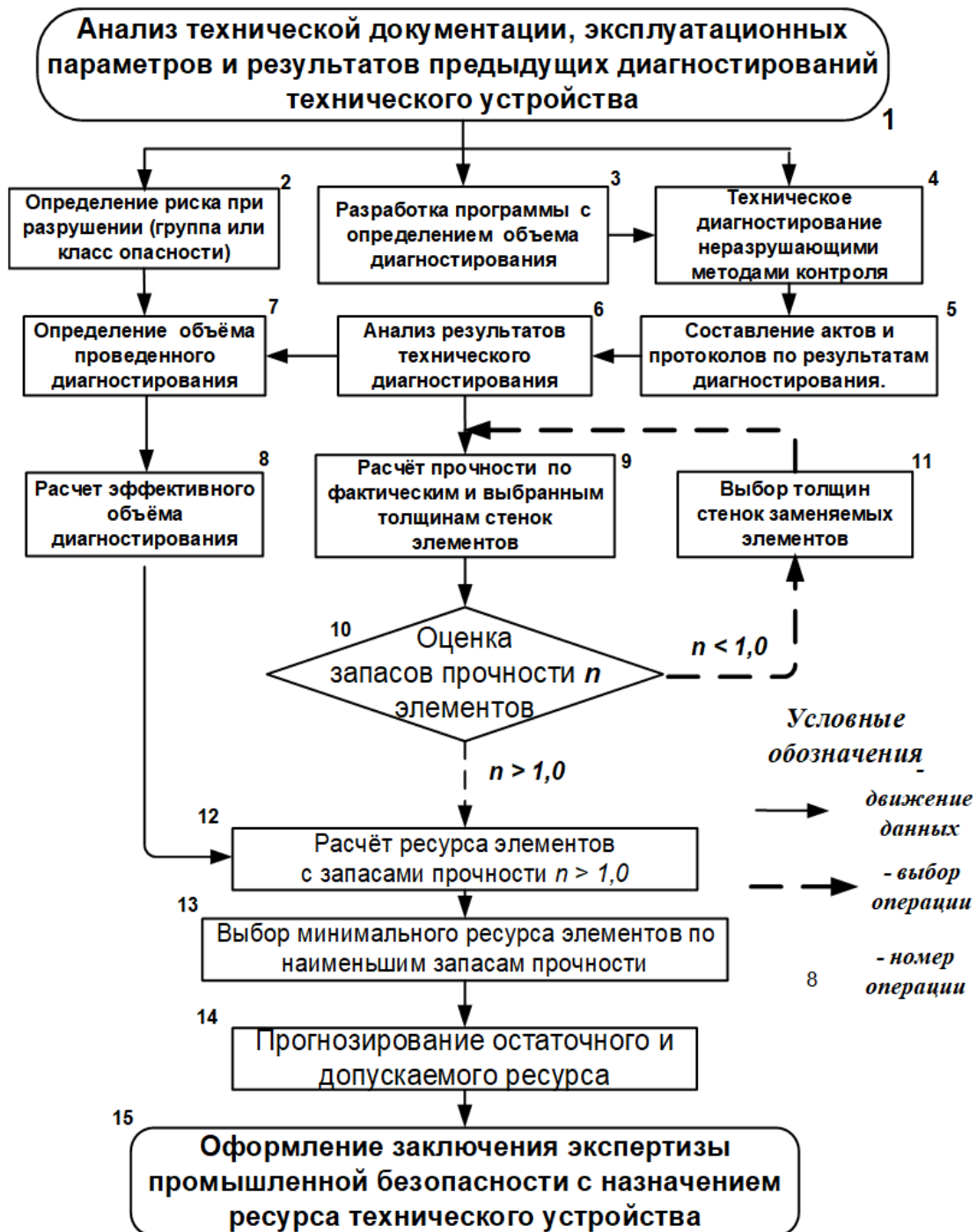


Рисунок 3 - Схема алгоритма поточного технологического процесса ремонта и экспертизы промышленной безопасности сосудов



РПИ с определением физического объема ТД элементов, применяемых методов и видов неразрушающего контроля, испытания образцов. ТД элементов сосуда проводится неразрушающими методами контроля (блок 4). Завершающим этапом ТД является составление актов и протоколов по результатам ТД и ввод данных по элементам (блок 5). Анализ результатов ТД (блок 6) включает определение параметров первоначальных и накопленных повреждений и их соответствие требованиям норм и технической документации.

Если запасы прочности отдельных элементов сосуда получились меньше единицы, алгоритмом предусмотрен выбор толщин стенок заменяемых элементов (блок 11). Толщина стенки заменяемого элемента определяется на основе повторного расчета прочности (блок 9) и запаса прочности до достижения величин  $n > 1$  (блок 10). По результатам расчета прочности и ресурса устанавливается необходимость проведения ремонта и усиления изношенных элементов. К расчету ресурса элементов (блок 12) переходят при обеспечении запасов прочности выше нормативных всех элементов сосуда. При этом учитывается показатель эффективности ТД, определенный расчетом эффективного объема ТД (блок 8).

На основе фактического объема ТД (блок 7), предусмотренного программой ТД (блок 3) рассчитывают эффективный объем ТД (блок 8), который учитывают при продлении ресурса элементов сосуда. Блоком 13 осуществляют выбор минимального ресурса по наименьшим запасам прочности элементов. Конечным этапом процедуры расчета является прогнозирование остаточного и назначение допускаемого ресурса (блок 14). Завершающим этапом является разработка заключения ЭПБ с назначением ресурса сосуда (блок 15).

Трудоемкость проведения ТД, РПИ и ЭПБ определяется исходя из опасности, длительности эксплуатации, объемов ТД и назначаемых сроков эксплуатации сосудов. По объемам проведения работ, выполненных при ЭПБ, рассчитывается их стоимость.

Поточная технология, направленная на объединение в единый технологический процесс ТД, РПИ и экспертизы ПБ, включает разработку рекомендаций на ремонт, прогнозирование ресурса и разработку заключений экспертизы ПБ.

Выделение поточной технологии ТД и РПИ в разряд самостоятельной задачи направлено на обеспечение промышленной безопасности при изготовлении и эксплуатации сосудов, котлов, резервуаров и трубопроводов.

Таким образом, обоснованы единые технологические требования к РПИ при ТД и прогнозированию ресурса сосудов различных типов конструктивного исполнения и различного назначения: емкостей теплообменников, аппаратов колонного типа и резервуаров, отработавших свой нормативный срок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ОДМ 218.4.001 - 2008. Методические рекомендации по организации обследования и испытания мостовых сооружений на автомобильных дорогах. Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). Москва, 2008.
2. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность: В 2 ч. / Н.А. Махутов. - Новосибирск: Наука, 2005. - Ч. 2: Обоснование ресурса и безопасности. - 610 с.
3. РД 09–539–03. Положение о порядке проведения экспертизы промышленной безопасности в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности.
4. Черепанов А.П., Колмаков В.П. Современные методы прогнозирования ресурса сосудов и аппаратов и их сравнительный анализ // Безопасность труда в промышленности. - 2011. - № 7. - С. 42 - 48.
5. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Управление ресурсом эксплуатации высокорисковых объектов / Под общ. ред. Махутова Н.А. - М.: МГОФ «Знание», 2015, - 600 с.
6. РД 09-539-03. Положение о порядке проведения экспертизы промышленной безопасности в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности.
7. РД 03-421-01. Методические указания по проведению технического диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов. - М.: ГУП НТЦ «Промышленная безопасность», 2002. - 136 с.
8. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25 марта 2014 г. № 116.
9. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила проведения экспертизы промышленной безопасности". Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 ноября 2013 г. N 538. Зарегистрирован Минюстом России 26 декабря 2013 г. № 30855.