



УДК 620.171: 621.039.548.58

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).44-51

**А. П. Черепанов, П. К. Ляпустин**

Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация

Дата поступления: 17 октября 2019 г.

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ДЕКЛАРИРОВАНИЮ И СЕРТИФИКАЦИИ ЕДИНИЧНЫХ И УНИКАЛЬНЫХ МАШИН**

**Аннотация.** В статье рассмотрены пути повышения качества контроля и диагностики при подготовке к декларированию и сертификации единичных и уникальных машин опасных производственных объектов совмещением диагностирования и технического контроля при их изготовлении. Подготовка единичных и уникальных машин к декларированию и сертификации включает единую технологию изготовления и технического контроля службой завода-изготовителя, совмещенную с техническим диагностированием, которое предусмотрено требованиями промышленной безопасности и ресурсно-прочностными исследованиями, входящими в состав технологического процесса изготовления единичных и уникальных машин. Результаты оценки исходного технического состояния предлагается использовать при подготовке пакета документов для целей декларирования и сертификации. Предлагаемый подход будет способствовать качественной подготовке самих машин и технической документации на них к проведению процедур декларирования и сертификации. С завершением процедур декларирования и сертификации наряду с обязательным перечнем комплекта документов на машину, документы с результатами совмещенного технического контроля и диагностирования, ресурсно-прочностных исследований, проведенных при изготовлении, также будут поставляться владельцу вместе с машиной. По окончании назначенного заводом-изготовителем срока эксплуатации, как известно, проводится оценка фактического технического состояния, при этом появится возможность его сравнения с исходным техническим состоянием, установленным в процессе изготовления. В соответствии с закономерностью снижения ресурса при переходе от исходного технического состояния к фактическому появится возможность повысить достоверность определения остаточного ресурса и назначения сроков дальнейшей безопасной эксплуатации, что в конечном итоге повысит безопасность и надежность единичных и уникальных машин в процессе эксплуатации. В работе также представлена поточная технология изготовления технических устройств, включающая технический контроль, диагностирование, ресурсно-прочностные исследования и оценку исходного технического состояния машин, проводимых в заданной последовательности. Совместно с изготовлением проводится определение исходного технического состояния различных типов единичных и уникальных машин.

**Ключевые слова:** безопасность, декларирование, диагностирование, изготовление, ресурс, сертификация, техническое состояние, технология, экспертиза.

**A. P. Cherepanov, P. K. Lyapustin**

Angarsk State Technical University, Angarsk, Russian Federation

Received: October 17, 2019

**IMPROVING THE QUALITY OF CONTROL AND DIAGNOSTICS IN PREPARATION FOR THE DECLARATION AND CERTIFICATION OF SINGLE AND UNIQUE MACHINES**

**Abstract.** The article considers the ways of improving the quality of control and diagnostics in preparation for the declaration and certification of single and unique machines of hazardous production facilities with the combination of diagnosis and technical control during its manufacture. Preparation of single and unique machines for declaration and certification includes an integrated manufacturing technology and technical control by the manufacturer's service, combined with technical diagnostics, which is provided by the requirements of industrial safety, and resource-strength studies. They can also be included in the technological process of manufacturing single and unique machines. The results of the assessment of the initial technical condition are proposed to be used in the preparation of a package of documents for the purposes of declaration and certification. The proposed approach will contribute to the quality preparation of the machines themselves and technical documentation for them to carry out the declaration and certification procedures. After the declaration and certification procedures are complete, along with the mandatory list of the set of documents for the machine, the documents with the results of combined technical control and diagnosis, resource and strength studies conducted during manufacture, will also be delivered to the owner together with the machine. As is known, at the end of the term of operation designated by the manufacturer, the actual technical condition is assessed with the possibility of comparing it with the initial technical condition established in the manufacturing process. In accordance with the pattern of declining resources in the transition from the original technical condition to the actual one, it will be possible to increase the accuracy of determining the residual life and setting terms of further safe operation, which ultimately will enhance the safety and reliability of single and unique machines in use. The paper also presents the continuous flow process technology of manufacturing technical devices, including technical control, diagnosis, resource and strength studies and evaluation of the initial technical equipment, conducted in a given sequence. Together with the manufacture, the initial technical condition of various types of single and unique machines is determined.



**Keywords:** *safety, declaration, diagnosis, manufacture, resource, certification, technical condition, technology, expertise.*

## Введение

Декларирование и сертификация единичных, уникальных машин и технических устройств (далее – ТУ) осуществляется в соответствии с Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ [1] с целью подтверждения требованиям Технического регламента [2], в том числе их различных типов: емкостей, теплообменников, колонных аппаратов, котлов, трубопроводов и резервуаров. Декларирование проводится для оборудования 1-й и 2-й категорий или при изготовлении в виде отдельных частей, собираемых при монтаже неразъемными соединениями, а сертификация – 3-й и 4-й категорий. Сертификаты с использованием схемы 1с, 3с и 4с ограничены сроком действия 5 лет, а для схемы 7с – расчетным или назначенным ресурсом, либо сроком службы.

Качество изготовления ТУ возлагается на изготовителя и подтверждается сертификатом или декларацией [2]. Документы для сертификации включают технический контроль и диагностирование (ТКиД), проводимые при изготовлении ТУ аналогично экспертизе промышленной безопасности (ЭПБ) [3]. Если у заказчика (в данном случае завода-изготовителя) имеются оборудование, приборы и специалисты, уровень квалификации которых позволяет выполнять ТКиД в процессе изготовления ТУ, то возможно использование результатов при оформлении заключения по техническому состоянию (ТС) и в документах, подготавливаемых для сертификации, а также в технической документации, передаваемой владельцу. В разделе IV п. 33 [2] говорится, что техническая документация на ТУ хранится у изготовителя в течение расчетного срока службы со дня снятия с производства или прекращения его выпуска. Например, если расчетный срок службы был задан 20 лет, то по окончании этого срока документация снимается с хранения. Однако поскольку из практики известно, что по результатам оценки ТС время эксплуатации единичных и уникальных машин может быть продлено, если запасы прочности элементов ТУ будут выше нормативных. В этом случае у завода-изготовителя документации на данное устройство по окончании расчетного срока службы может не быть, особенно это касается оборудования иностранного производства. Покажем, каким образом отсутствие результатов первичного ТКиД у владельца в последующем влияет на результаты ЭПБ.

Во-первых, недостающая информация об исходном ТС, полученном при первичном ТКиД, не даст возможности сравнения исходного ТС с фактическим на момент проведения ЭПБ.

Во-вторых, исходные запасы прочности или запасы толщин стенок и сечений корпусных и других ответственных элементов, которые существовали в момент изготовления, не будут известны владельцу, и невозможно будет судить об их фактическом снижении за период предыдущей эксплуатации.

В-третьих, если будут обнаружены дефекты элементов, деталей и узлов, то невозможно установить время их появления из-за отсутствия информации о том, имелись ли они при изготовлении и являлись ли в то время допустимыми.

Таким образом, отсутствие результатов первичного ТКиД при изготовлении у владельца по истечении назначенного срока эксплуатации ТУ не дает возможности достоверной оценки ресурса и обоснованного назначения срока дальнейшей эксплуатации при ЭПБ из-за недостатка информации об исходном ТС.

## Решение задачи повышения качества контроля и диагностики единичных и уникальных машин

Рассмотрим ТКиД, ресурсно-прочностные исследования (РПИ) и оценку ТС в качестве части технологического процесса, обеспечивающей качественное изготовление оборудования с выполнением технического контроля и диагностирования согласно [3].

Однако существующие технологии касаются в основном изготовления и технического контроля соответствия технических параметров требованиям стандартов и технической документации [4]. Задачи технического диагностирования решаются индивидуально по окончании назначенного срока эксплуатации [3], что не обеспечивает качественного изготовления и полного соответствия из-за отсутствия полной согласованности требований технического контроля с ЭПБ.

Идея совмещения ТКиД при изготовлении с РПИ с оценкой ТС, ресурса и назначением срока безопасной эксплуатации изложена в работах [5, 6], поэтому подготовка единичных и уникальных машин к декларированию и сертификации может представлять единую технологию изготовления элементов, деталей, узлов и ТУ в целом, совмещенную с первичным ТКиД, РПИ и составлением заключения по исходному ТС и включения



его в состав технического паспорта единичной и уникальной машины или ТУ.

Показана технологическая схема изготовления, которая включает ТКиД, проводимое по мере изготовления элементов, деталей и узлов, а также всего ТУ (рис. 1).

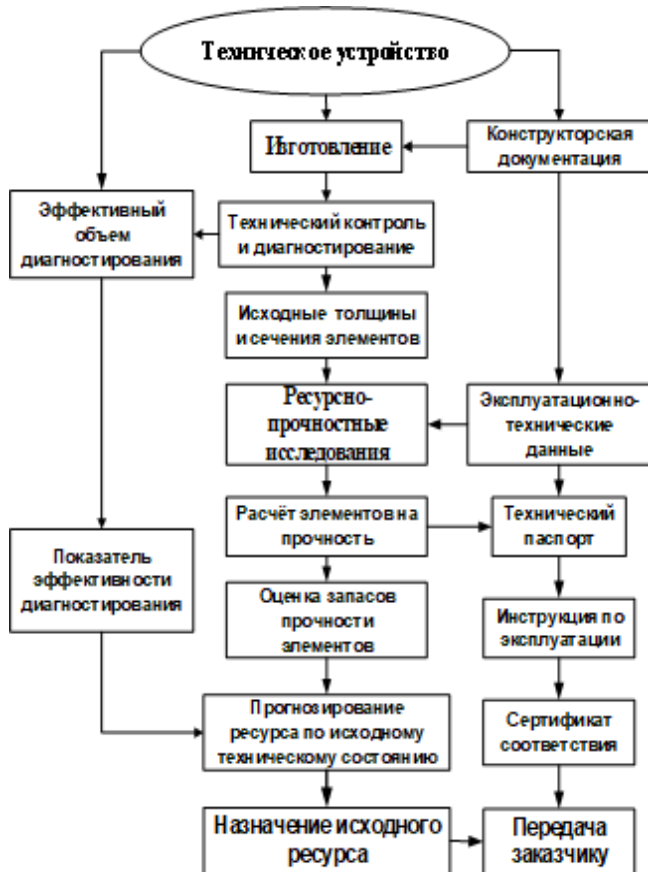


Рис. 1. Технологическая схема изготовления и технический контроль и диагностирование

Комплекс работ по ТКиД при изготовлении аналогичен работам, проводимым при ЭПБ [3]. Он также включает ТД, проводимое в соответствии с технологическими операциями изготовления как отдельных деталей, узлов, так и ТУ в целом. Обнаруженные по ТКиД дефекты устраняются, а затем дефектные места вновь проверяются на отсутствие дефектов.

Визуально-измерительным методом контроля определяют исходные толщины и сечения элементов. По эксплуатационно-техническим данным проводят РПИ каждого отдельного элемента [7]. Рассчитывают исходные запасы прочности и исходный ресурс элементов, затем по наиболее слабому из них методом слабейшего звена [8, 9] определяют ресурс всего ТУ. Расчет прочности и ресурса затем входит в паспорт ТУ.

Далее приведена схема обработки данных технического контроля и диагностирования с со-

ставлением актов, протоколов и заключений, аналогично требованиям ЭПБ [3] (рис. 2). Весь цикл работ подразделяется на ТКиД и РПИ.

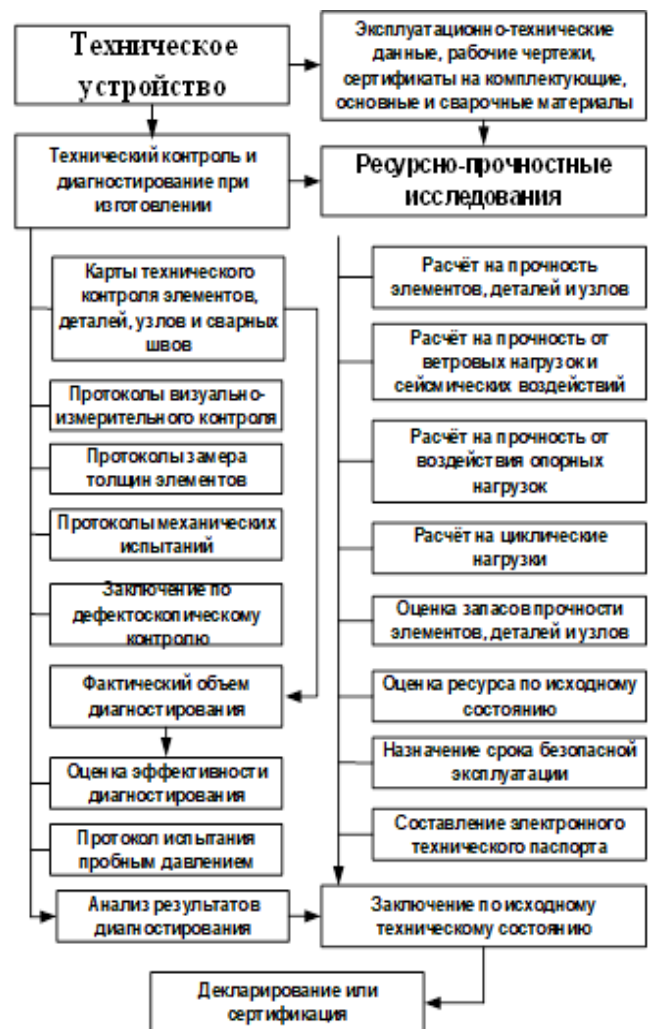


Рис. 2. Схема обработки данных технического контроля и диагностирования

ТКиД проводится совместно с изготовлением элементов, деталей, узлов или ТУ в целом, его эффективность зависит от фактического объема выполнения. Объемы и последовательность выполнения ТКиД и РПИ зависят от типа единичного и уникального ТУ. Программа ТКиД составляется индивидуально на каждое конструктивное исполнение ТУ и его эксплуатационные параметры. Документы, подтверждающие результаты ТКиД, показаны на схеме. Анализом результатов ТКиД определяется исходное ТС деталей, узлов и ТУ в целом, РПИ проводятся в определенной последовательности (рис. 2), при этом уточняется допустимость дефектов и отклонений от проектных величин. Расчеты прочности следует проводить по исходным толщи-



нам стенок, измеренным при ТКиД. Например, при вальцовке обечаек или штамповке днищ наблюдается утонение стенок, которое следует уточнить не только по прибавкам к расчетной толщине, но и определить их максимальное утонение. Расчет прочности следует проводить по минимальным толщинам, а не по номинальным, чтобы определить исходные запасы прочности и точнее рассчитать исходный ресурс [10].

Для повышения достоверности исходных данных в технический паспорт ТУ следует вносить не проектные размеры, как это принято, а фактические, в частности, исходные толщины стенок несущих элементов и расчетный ресурс с назначением срока безопасной эксплуатации. На основе данных ТКиД и РПИ поводят анализ фактического ТС и составляют заключение по исходному ТС, которое должно входить в паспорт ТУ и в пакет документации для сертификации или декларирования в соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» [2].

Конструкционными показателями для оценки исходного ресурса должны быть исходные запасы прочности, коррозия и коррозионная стойкость материалов, класс опасности ТУ для окружающей среды [11]. Технологическими показателями должны быть объемы ТКиД относительной площади поверхности элементов и длины сварных швов. Эффективный объем ТКиД при изготовлении следует принимать в пределах 0,8–0,95. Методика его расчета аналогична [12] и состоит в определении эффективного объема ТКиД:

$$W_{\text{эфф}} = V_{\text{э}} \cdot \omega, \quad (1)$$

где  $V_{\text{э}}$  – фактический объем ТКиД;  $\omega$  – коэффициент технической оснащенности лаборатории ТКиД ( $\omega = 0,5-1,0$ ).

Коэффициент эффективности ТКиД:

$$K_{\text{э}} = W_{\text{эфф}}^{1+ln\xi} \quad (2)$$

куда помимо объема ТКиД входит степень опасности разрушения ТУ:

$$\xi = \gamma^{ln\delta}, \quad (3)$$

определяемая доверительной вероятностью  $\gamma$ , выбранной из ряда 0,80; 0,90; 0,95; 0,99, и с максимально допустимой относительной ошибкой из ряда 0,05; 0,10; 0,15; 0,20.

Выбор величин  $\gamma$  и  $\delta$  позволяет определить степень опасности разрушения  $\xi$  ТУ [16], которая в ТР ТС [16] задана порядковым номером.

Фактический объем ТКиД определяется количеством контролируемых элементов, протяжен-

ностью сварных швов и площадью (объемом) контролируемых поверхностей:

$$V_{\text{э}} = \frac{N + L}{2} + V_A, \quad (4)$$

где  $N$  – объем ТКиД элементов, из которых состоит ТУ.

Объем ТКиД определен выражением:

$$N = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{M'} \left[ \frac{q_i}{T_i} \sum_{j=1}^{T'_i} (n_{ij} K_j) \right] \quad (5)$$

где  $n_{ij}$  – количество элементов, входящих в  $i$ -ю группу и контролируемых  $j$ -м методом;  $T_i$  – общее число элементов  $i$ -ой группы;  $q_i$  – относительная величина ответственности  $i$ -ой группы элементов;  $T'_i$  – число методов контроля, примененных для элементов  $i$ -ой группы;  $M$  – общее количество групп элементов ТУ;  $M'$  – число контролируемых групп;  $K_j$  – достоверность  $j$ -го метода ТКиД.

Общая протяженность сварных швов ТУ, подлежащих ТКиД:

$$L = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P \left[ \frac{B_i}{l_i} \sum_{j=1}^{l'_i} (l'_{ij} K_j) \right], \quad (6)$$

где  $l'_{ij}$  – протяженность сварных швов  $i$ -ой группы, контролируемых  $j$ -м методом (например, ультразвуковым и т. п.);  $l_i$  – протяженность сварных швов  $i$ -ой группы;  $P$  – количество кольцевых, продольных сварных швов и их пересечений;  $B_i$  – количество методов контроля  $i$ -ой группы сварных швов.

Общий объем ТКиД поверхностей ТУ:

$$V_A = \frac{\sum_{j=1}^r A_j \cdot K_j}{r} + V_p + V_{AEC}, \quad (7)$$

где  $A_j$  – поверхность или ее часть, контролируемая  $j$ -м методом;  $r$  – количество методов наружного и внутреннего ТКиД, включая измерение толщин стенок, твердости металлографии, мехиспытания и др.;  $V_p$  – объем контроля при испытании, например, пробным давлением;  $V_{AEC}$  – объем акустико-эмиссионного контроля.

Достоверность ТКиД увеличивается при сочетании различных методов, поэтому сумма  $j$ -х методов неаддитивна, это следует учесть при расчете величин  $N$ ,  $L$  и  $V_A$ . Для повышения точности расчета можно применить поправочные повышающие или понижающие коэффициенты.

Фактическим объемом определяется трудоемкость, а по расценкам – стоимость работ по ТКиД.

Трудоемкость ТКиД и РПИ для всего ТУ:

$$N_c = N \cdot t_N + L \cdot t_L + V_A \cdot t_{VA} + P_p \cdot t_p + P_m \cdot t_m. \quad (8)$$



Определяется нормативами времени на ТКиД:  $t_N$  – штучные элементы;  $t_L$  – сварные швы;  $t_{VA}$  – площади поверхности ТУ;  $P_p$  и  $P_m$  – трудоемкость РПИ и оценки ТС;  $t_p$  и  $t_m$  – норма времени на РПИ и оценку ТС.

В нормы времени и себестоимость ТКиД входят вспомогательное и подготовительно-заключительное время.

Стоимость ТКиД, РПИ и оценки ТС:

$$C = N \cdot t_N \cdot p_N + L \cdot t_L \cdot p_L + V_A \cdot t_{VA} \cdot p_{VA} + P \cdot t_p \cdot p_p + P_m \cdot t_m + C_n, \quad (9)$$

Расценки и нормы времени на ТКиД:  $p_N$  – штучные элементы;  $p_L$  – сварные швы;  $p_{VA}$  – визуально-измерительный, акустико-эмиссионный и другие виды контроля;  $p_p$  – проведение РПИ и оценка ТС;  $C_n$  – накладные расходы и амортизационные отчисления.

Ниже показана схема методов ТКиД различных типов элементов ТУ (рис. 3), аналогичная [6].

Определение временных затрат на ТКиД, РПИ, оценку ТС, составление пакета документов для сертификации можно проводить аналогично [6]. Время на ТКиД, РПИ, оценку ТС:

$$D_{TKiD} = \frac{N_{пз} \cdot (1 - K_d) + N_{max}}{m \cdot t_c \cdot n_c \cdot K_{исп}}, \quad (10)$$

где  $N_{пз}$  – трудоемкость подготовительно-заключительных операций ТКиД;  $N_{max}$  – трудоемкость оценки ТС;  $K_d$  – коэффициент доли ТКиД в период изготовления (рекомендуемое значение  $K_d = 0,15-0,20$ );  $m$  – количество специалистов по ТКиД;  $t_c$  – продолжительность смены;  $n_c$  – суточное количество смен;  $K_{исп}$  – коэффициент использования приборов в смену (рекомендуемое значение  $K_{исп} = 0,8-0,85$ ). Продолжительность изготовления ТУ совместно с ТКиД и подготовкой к сертификации:

$$D = D_p + D_{TKiD}, \quad (11)$$

где  $D_p$  – продолжительность изготовления ТУ;  $D_{TKiD}$  – продолжительность ТКиД.

С целью сокращения трудоемкости работ создан комплекс компьютерной обработки результатов ТКиД и РПИ [13] для единичных и уникальных машин и ТУ.

#### **Обсуждение преимуществ технического контроля и диагностики при изготовлении единичных и уникальных машин**

Рассмотрим более подробно, каким образом определяется расчетный срок службы или ресурс в соответствии с нормативными документами.

Например, расчетным сроком службы резервуара является период безопасной эксплуатации

до очередного диагностирования ремонта или после него [14], далее сказано, что он определяется долговечностью и обосновывается выполнением требований нормативных документов. При этом никаких расчетных величин ресурса и срока службы не приводится.

В Федеральных нормах и правилах [15] регламентируются критерии предельного состояния, а также уменьшение толщин стенок до расчетной величины. Указывается на недопустимость усталостных, термических и коррозионных растрескиваний и других дефектов сверх установленных норм. В то же время методы определения исходного ресурса в нормах не указаны.

Назначенный или расчетный срок службы [16] в паспорте сосуда указывает предприятие-изготовитель, однако методов определения ресурса также не приведено. Например, в методических рекомендациях [17] приводятся методы расчета только остаточного ресурса. Предложения по разработке методов расчета исходного (при изготовлении) текущего (при ЭПБ) и остаточного по окончании назначенного срока безопасной эксплуатации рассматривались в работе [20].

В настоящей работе показана последовательность ТКиД и РПИ, которую устанавливают в соответствии с классификационной схемой (см. рис. 3). Результаты работы, приведенные в статье, могут использоваться при подготовке к сертификации и декларированию ТУ в зависимости от их класса опасности и позволят снизить затраты на изготовление.

Единые технологические требования к изготовлению, ТКиД и РПИ направлены на повышение безопасности и надежности эксплуатации единичных и уникальных машин и ТУ.

#### **Заключение**

1. Единые технологические требования к ТКиД, РПИ, к оценке исходного ТС и прогнозированию исходного ресурса направлены на снижение затрат по изготовлению единичных и уникальных ТУ.

2. Поточная технология ТКиД, РПИ, оценки исходного ТС может быть использована для декларирования и сертификации единичных и уникальных машин и ТУ.

3. Поточная технология позволяет проводить ТКиД, РПИ, оценку исходного ТС и определять исходный ресурс при изготовлении уникальных и единичных машин и ТУ.

4. Полученные результаты могут помочь снизить затраты на изготовление, повысить надежность уникальных и единичных машин и ТУ.

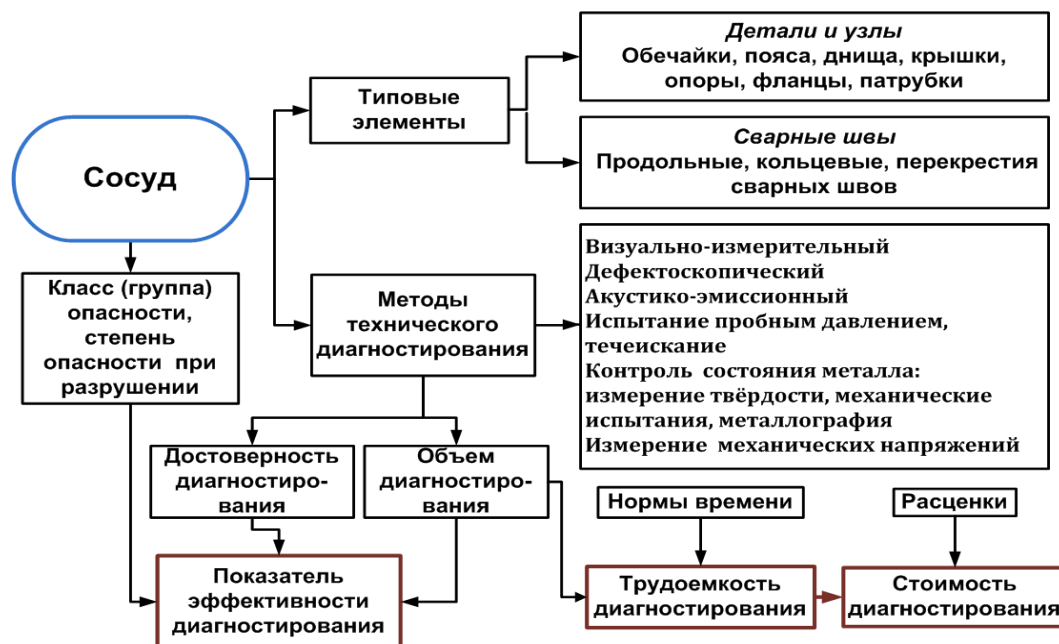


Рис. 3. Схема методов технического контроля и диагностирования различных типов элементов технических устройств

Применению результатов работы препятствует отсутствие нормативной базы, которая бы учитывала особенности ТКИД заводской службой,

содержала методики оценки исходного ресурса при изготовлении, как предлагалось в работе [20].

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов : федер. закон : от 21.07.1997 № 116–ФЗ.
2. О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением : техн. регламент Таможенного союза (ТР ТС 032/2013) : принят Решением Совета Евразийск. эконом. комиссии от 2 июля 2013г. № 41.
3. Правила проведения экспертизы промышленной безопасности : утв. приказом Ростехнадзора от 14.11.2013 № 538 : зарегистрир. Минюст России от 26.12.2013 № 30855.
4. Технический контроль. URL: <https://center-yf.ru/data/Menedzheru/tehnicheckiy-ontrol.php> (дата обращения: 10.10.2018).
5. Cherepanov A.P. Concept of methodological recommendations for estimating service life of industrial equipment based on service-life-safety studies // Chemical and Petroleum Engineering. 2012. Т. 47. № 11-12. С. 790–795.
6. Безопасность России. Правовые, социально - экономические и научно-технические аспекты. Управление ресурсом эксплуатации высокорисковых объектов / под общ. ред. Н.А. Махутова. М. : Знание, 2015. 600 с.
7. Cherepanov A.P. Selection of indicators for assessment of overall, computed, and remaining service lives of production equipment // Chemical and Petroleum Engineering. 2011. Vol. 46. № 9–10. P. 624–630. (7).
8. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность : в 2 ч. Новосибирск : Наука, 2005. Ч. 2: Обоснование ресурса и безопасности. 610 с.
9. Москвичев В.В. Основы конструкционной прочности технических систем и инженерных сооружений : в 3 ч. Новосибирск : Наука, 2002. Ч. 1: Постановка задач и анализ предельных состояний. 106 с.
10. Пат. Рос. Федерации № 2454648, МПК G01M15/00, G01N3/00. Способ прогнозирования ресурса технических устройств / А.П. Черепанов. Оpubл. 27.06.2012, Бюл. № 18.
11. Cherepanov A., Lyapustin P. Forecasting Resource as a Method of Increasing the Security // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 253 012004. 2017.
12. Cherepanov A.P., Poroshin Y.V. Estimating service life of technical devices with due regard for efficiency of their diagnosis // Chemical and Petroleum Engineering. 2010. Т. 46. № 1. Vol. 46. P. 103–108(6).
13. Колмаков В.П., Черепанов А.П., Порошин Ю.В. Комплекс компьютерной обработки результатов технического диагностирования // Безопасность труда в промышленности. 2010. № 7. С. 59–63.
14. ГОСТ 31385-2016 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия. Введ. 2017-03-01. М. : Стандартинформ, 2016.
15. Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением : федер. нормы и правила в области промышленной безопасности : с приложением с изменениями на 12.12.2017 : утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25.03.2014. № 116.
16. СО 153-34.17.439-2003 Инструкция по продлению срока службы сосудов, работающих под давлением.
17. РД 03–421–01. Методические указания по проведению технического диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов. М. : Промышленная безопасность, 2002. 136 с.
18. Махутов Н.А., Пимштейн П.Г. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып. 5. М., 1995. 16 с.



19. Лейфер Л.А., Кашникова П.М. Определение остаточного срока службы машин и оборудования на основе вероятностных моделей. URL: [http://www.labrate.ru/leifer/leifer\\_kashnikova\\_article\\_2007\\_residual\\_service\\_life.htm](http://www.labrate.ru/leifer/leifer_kashnikova_article_2007_residual_service_life.htm) (дата обращения: 05.10.2007).

20. Черепанов А.П. Адаптация нормативов к условиям проведения экспертизы до начала применения технических устройств на опасном производственном объекте // Безопасность и живучесть технических систем : материалы и доклады V Всерос. конф. Красноярск : Сиб. Федер. ун-т, 2015. Т. 2. 272 с.

## REFERENCES

1. Federal'nyi Zakon Rossii «O promyshlennoi bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov» ot 21.07.1997 g. No. 116–FZ [The Federal Law of Russia “On Industrial Safety of Hazardous Production Facilities” dated July 21, 1997 No. 116 – FZ].

2. Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti oborudovaniya, rabotayushchego pod izbytochnym davleniem» (TR TS 032/2013), prinyat Resheniem Soveta Evraziiskoi ekonomicheskoi komissii ot 2 iyulya 2013g. No. 41 [Technical regulations of the Customs Union “On the safety of equipment operating under excessive pressure” (TR CU 032/2013), adopted by the Decision of the Council of the Eurasian Economic Commission of July 2, 2013. No. 41].

3. Pravila provedeniya ekspertizy promyshlennoi bezopasnosti. Utv. prikazom Rostekhnadzora ot 14.11.2013 No. 538 (Zaregistrovano v Minyuste Rossii 26.12.2013 No. 30855) [The rules for the examination of industrial safety. Approved by order of Rostekhnadzor dated November 14, 2013 No. 538 (registered with the Ministry of Justice of Russia December 26, 2013 No. 30855)].

4. Tekhnicheskii kontrol' [Elektronnyi resurs]. [Technical control] URL:

5. <https://center-yf.ru/data/Menedzheru/tehnicheskii-ontrol.php> (Access date: 10 Oct 201 .)

6. Cherepanov A.P. Concept of methodological recommendations for estimating service life of industrial equipment based on service-life-safety studies. Chemical and Petroleum Engineering, 2012. Vol. 47. No. 11-12, pp. 790-795.

7. Bezopasnost' Rossii. Pravovye, sotsial'no - ekonomicheskie i nauchno-tehnicheskije aspekty. Upravlenie resursom ekspluatatsii vysokoriskovykh ob'ektov [Security of Russia. Legal, socio-economic and scientific-technical aspects. Resource management of high-risk facilities]. In Makhutov N.A. (gen. ed.) Moscow: MGOF «Znanie» Publ., 2015, 600 p.

8. Cherepanov A.P. Selection of indicators for assessment of overall, computed, and remaining service lives of production equipment. Chemical and Petroleum Engineering, Vol. 46, Nos. 9–10, 2011, pp. 624–630(7).

9. Makhutov N.A. Konstruktsionnaya prochnost', resurs i tekhnogennaya bezopasnost': V 2 ch. [Structural strength, resource and technological safety: In 2 parts]. Novosibirsk: Nauka Publ., 2005. P. 2: Obosnovanie resursa i bezopasnosti [Justification of the resource and security]. 610 p.

10. Moskvichev V.V. Osnovy konstruktsionnoi prochnosti tekhnicheskikh sistem i inzhenernykh sooruzhenii: V 3 ch. [Fundamentals of structural strength of technical systems and engineering structures: in 3 parts]. In Makhutov N.A. (resp. ed.) Novosibirsk: Nauka Publ., 2002. P. 1: Postanovka zadach i analiz predel'nykh sostoyanii [Statement of problems and analysis of limit states]. 2002. 106 p.: il. ISBN 5–02–032016–1.

11. Cherepanov A.P. Sposob prognozirovaniya resursa tekhnicheskikh ustroystv [The method for predicting the resource of technical devices]. Pat. Ros. Federatsii No. 2454648, MPK G01M15/00, G01N3/00. Applied by: Cherepanov A.P. Publ.: 27.06.2012, Bull. No. 18.

12. Cherepanov A., Lyapustin P. Forecasting Resource as a Method of Increasing the Security. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 253 012004. 2017.

13. Cherepanov A.P., Poroshin Y.V. Estimating service life of technical devices with due regard for efficiency of their diagnosis. Chemical and Petroleum Engineering, Vol. 46. No. 1. Volume 46, Numbers 1–2, May 2010, pp. 103–108(6). DOI: 10.1007/s10556–010–9300–2.

14. Kolmakov V.P., Cherepanov A.P., Poroshin Yu.V. Kompleks komp'yuternoi obrabotki rezul'tatov tekhnicheskogo diagnostirovaniya [A complex of computer processing of technical diagnostic results]. Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Labor safety in industry], 2010. No. 7, pp. 59–63.

15. GOST 31385-2016 Rezervuary vertikal'nye tsilindricheskie stal'nye dlya nefi i nefteproduktov. Obshchie tekhnicheskije usloviya [GOST 31385-2016 Vertical cylindrical steel tanks for oil and oil products. General specifications. Date of introduction: 01.03.2017]. Introduction date: 01.03.2017.

16. Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoi bezopasnosti «Pravila promyshlennoi bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov, na kotorykh ispol'zuetsya oborudovanie, rabotayushchee pod izbytochnym davleniem». Prilozhenie (s izmeneniyami na 12 dekabrya 2017 goda). Zaregistrovano v Ministerstve yustitsii Rossiiskoi Federatsii 19 maya 2014 goda, registratsionnyi No. 32326 [Federal norms and rules in the field of industrial safety "Industrial safety rules for hazardous production facilities that use equipment operating under excessive pressure." Application (as amended on December 12, 2017). Registered at the Ministry of Justice of the Russian Federation on May 19, 2014, registration No. 32326].

17. SO 153-34.17.439-2003 Instruktsiya po prodleniyu sroka sluzhby sudov, rabotayushchikh pod davleniem [SO 153-34.17.439-2003 Instructions for extending the service life of pressure vessels].

18. RD 03–421–01. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu tekhnicheskogo diagnostirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya i opredeleniyu ostatochnogo sroka sluzhby sudov i apparatov [RD 03–421–01. Guidelines for the technical diagnosis of the technical condition and the determination of the residual life of vessels and apparatuses]. Moscow: GUP NTTs «Promyshlennaya bezopasnost'» Publ., 2002. 136 p.

19. Makhutov N.A., Pimshtein P.G. Problemy bezopasnosti pri chrezvychaynykh situatsiyakh [Safety issues in emergency situations], Issue 5. Moscow, 1995. 16 p.

20. Leifer L.A., Kashnikova P.M., Opredelenie ostatochnogo sroka sluzhby mashin i oborudovaniya na osnove veroyatnostnykh modelei [Determination of the residual life of machines and equipment based on probabilistic models]. URL:

21. [http://www.labrate.ru/leifer/leifer\\_kashnikova\\_article\\_2007\\_residual\\_service\\_life.htm](http://www.labrate.ru/leifer/leifer_kashnikova_article_2007_residual_service_life.htm) (Access date: 05.10.2007).

21. Cherepanov A.P. Adaptatsiya normativov k usloviyam provedeniya ekspertizy do nachala primeneniya tekhnicheskikh ustroystv na opasnom proizvodstvennom ob'ekte. Bezopasnost' i zhivuchest' tekhnicheskikh sistem: materialy i doklady [Adaptation of standards to the conditions of the examination prior to the use of technical devices at a hazardous production facility. Safety and survivability of technical systems: materials and reports]. V Vserossiiskaya konferentsiya (Krasnoyarsk, 12-15 oktyabrya 2015 goda) [V All-Russian Conference (Krasnoyarsk, October 12-15, 2015)]. In 3 vols.; In Moskvichev V.V. (sci. ed.) Krasnoyarsk: Sib. Feder. Un-ty Publ., 2015. Vol.2. 272 p.

**Информация об авторах****Authors**

*Черепанов Анатолий Петрович* – д. т. н., профессор кафедры управления на автомобильном транспорте, Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, e-mail: boning89@mail.ru.

*Ляпустин Павел Константинович* – к. т. н., заведующий кафедрой управления на автомобильном транспорте, Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, e-mail: lpk62@mail.ru.

*Anatolii Petrovich Cherepanov* – Angarsk State Technical University (ASTU), Professor of the Subdepartment of Management of Road Transport, Doctor of Engineering Science, Angarsk, e-mail: boning89@mail.ru.

*Pavel Konstantinovich Lyapustin* – Angarsk State Technical University (ASTU), head of the Subdepartment of Management of Road Transport, Ph.D. in Engineering Science, Angarsk, e-mail: lpk62@mail.ru.

**Для цитирования****For citation**

Черепанов А. П. Повышение качества контроля и диагностики при подготовке к декларированию и сертификации единичных и уникальных машин / А. П. Черепанов, П. К. Ляпустин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 64, № 4. – С. 44–51. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).44-51.

Cherepanov A. P., Lyapustin P. K. Povysheniye kachestva kontrolya i diagnostiki pri podgotovke k deklarirovaniyu i sertifikatsii yedinichnykh i unikal'nykh mashin [Improving the quality of control and diagnostics in preparation for the declaration and certification of single and unique machines]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 64, No. 4. Pp. 44–51. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).44-51.

УДК 621.833

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).51–57

**В. Н. Анферов, А. П. Ткачук, И. В. Шишлова**

*Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, Российская федерация*  
 Дата поступления: 25 октября 2019 г.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ ДЛЯ СПИРОИДНЫХ РЕДУКТОРОВ**

**Аннотация.** В статье приведены основные виды спироидных передач. Описаны преимущества при выборе передач червячного класса и расчет коэффициента полезного действия для них. Потери мощности в зацеплении составляют значительную долю потерь в червячных передачах. Доказано, что коэффициент полезного действия передачи уменьшается при увеличении передаточного числа в червячной паре. С ростом скорости скольжения коэффициент трения скольжения уменьшается. Выбор смазочных материалов для спироидных редукторов является актуальной задачей, несмотря на их преимущества перед червячными по нагрузочной способности и коэффициенту полезного действия. Описана полномасштабная программа испытаний, выполненная при разработке новых масел и присадок к ним для зубчатых передач. В работе проводится оценка антифрикционных свойств трансмиссионных масел для спироидных редукторов. Испытания были проведены на специальном стенде, выполненном по разомкнутому контуру, схема которого приведена в статье. Испытания проходили в три этапа (каждый описан). Были проведены исследования для трех сортов трансмиссионных масел (ТМ-5-18 «ТАД-17», ТМ-4-18 «U-tech Forward», ТМ-4-12 «LUXOIL»), получивших широкое распространение в механизмах путевых, подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин, лучшим из которых по антифрикционным свойствам является масло ТМ-4-18 «U-tech Forward». Приведены экспериментальные зависимости коэффициента полезного действия спироидных редукторов РС31,5-11 и РС31,5-81 в зависимости от момента  $T_2$ , испытанных с маслом ТМ-4-18 «U-tech Forward».

**Ключевые слова:** спироидная передача, редуктор, вращающий момент, коэффициент полезного действия, трансмиссионное масло, стенд, натурные испытания.

**V. N. Anferov, A. P. Tkachuk, I. V. Shishlova**

*Siberian Transport University, Novosibirsk, the Russian Federation*  
 Received: October 25, 2019

**THE RESEARCH RESULTS OF OPERATIONAL PROPERTIES OF TRANSMISSION OILS FOR SPIROID GEARBOX**

**Abstract.** The article presents main types of spiroid transmissions. It describes the advantages when choosing transmissions of a worm-gear class and calculates the efficiency for them. Power losses in gearing account for a considerable share of losses in worm-gear transmissions. It is proved that the efficiency of transmission decreases at increase in transfer number in a worm gear pair. With the sliding speed growth, the coefficient of a sliding friction decreases. The choice of lubricants for spiroid gearboxes is a relevant problem, despite their advantages before worm ones with respect to load ability and efficiency. The authors describe a full-scale program of tests