

УДК 621.791.7

**ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА
НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ПО ПАРАМЕТРАМ ИСПЫТАНИЙ**

**ESTIMATION OF THE RESIDUAL RESOURCE
OF OIL AND GAS-CHEMICAL EQUIPMENT
BY TEST PARAMETERS**

Зарипов М.З., Хабиров И.М., Халимов М.Ф.

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Уфа, Российская Федерация**

M.Z. Zaripov, I.M. Khabirov, M.F. Khalimov

**Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, Russian Federation**

e-mail: mzzaripov@mail.ru

Аннотация. В нефтегазохимической отрасли котлонадзорное оборудование, сосуды, аппараты и трубопроводы на завершающем этапе изготовления на заводах машиностроения, а также при техническом освидетельствовании и диагностировании в процессе длительной эксплуатации (в особенности, после аварийных отказов и ремонтно-восстановительных работ с применением огневой резки и сварки) подвергаются испытаниям пробным гидравлическим (пневматическим) давлением. Испытания давлением проводят с целью проверки прочности и герметичности сварных соединений оборудования, всех конструктивных элементов, работающих под давлением. В процессе эксплуатации в металле конструктивных элементов происходит постепенное накопление непредсказуемых и непрерывных повреждений и по истечении

определенного времени возможны разрушения. Процессы накопления повреждений в металле усиливаются в зонах концентрации напряжений, которыми являются дефекты металлургического, строительного-монтажного и эксплуатационного характера, а также зоны геометрических конструктивных концентраторов в местах приварки днищ, переходов, патрубков штуцеров в корпус аппарата. При этом, особую опасность представляют трещиноподобные дефекты сварных соединений, холодные и горячие трещины, непровары и подрезы швов, механические (царапины) и коррозионные (стресс-коррозия) повреждения и др.

Кроме величины пробного и рабочего давления в технических паспортах или сертификатах на нефтегазохимическое оборудование должны быть регламентированы значения расчетного ресурса (время или число циклов нагружения до наступления того или иного предельного состояния) с конкретизацией условий эксплуатации (температуры, скорости коррозии, параметров изменения режима силовых нагрузок и др.).

На основе комплексных исследований, выполненных на кафедре «Технология нефтяного аппаратостроения» УГНТУ, разработаны методики оценки безопасного срока эксплуатации оболочковых сварных конструкций в зависимости от параметров режима периодических гидравлических испытаний. Расчетная оценка остаточного ресурса сварных сосудов и аппаратов выполнялась с учетом условий эксплуатации при статическом и малоцикловом нагружениях, основываясь на результатах выборочного контроля методами инструментальной диагностики, визуального измерительного контроля, ультразвуковой дефектоскопии и измерения толщины стенки конструктивных элементов обследуемых технических устройств.

Abstract. In the petrochemical industry, boiler supervisory equipment, vessels, apparatus and pipelines at the final stage of production at mechanical engineering plants, as well as during technical inspection and diagnostics during

long-term operation (especially after accidental failures and repair and restoration work with the use of flame cutting and welding) are subjected to test hydraulic test (pneumatic) pressure. Pressure tests are carried out in order to verify the strength and tightness of the welded joints of the equipment, of all structural elements working under pressure. During operation in the metal of structural elements there is a gradual accumulation of unpredictable and continuous damage, and after a certain time, destruction is possible. Damage accumulation processes in the metal are enhanced in stress concentration zones, which are defects of a metallurgical, construction and operational nature, as well as geometric constructive concentrators in places of welding of the bottoms, transitions, fittings nozzles into the body of the apparatus. At the same time, crack-like defects of welded joints, cold and hot cracks, lack of penetration and undercuts of welds, mechanical (scratches) and corrosion (stress-corrosion) damage, etc., are of particular danger.

In addition to the value of trial and working pressure in technical datasheets or certificates for petrochemical equipment, the values of the calculated resource (time or number of loading cycles before the occurrence of one or another limit state) should be regulated with specification of operating conditions (temperature, corrosion rate, steam).

On the basis of complex research carried out at Technology of Petroleum Apparatus Construction Department of USPTU, methods for periodic evaluation of the safe life of shell welded structures were developed depending on the parameters of the periodic hydraulic testing regime. The estimated evaluation of the residual life of welded vessels and devices was performed taking into account the operating conditions for static and low-cycle loading, based on the results of selective testing by instrumental diagnostic methods, visual measurement control, ultrasonic flaw detection and wall thickness measurement of structural elements of the surveyed technical devices.

Ключевые слова: углеродистые стали, низколегированные стали, нефтегазохимическое оборудование, сварной шов, техническое

диагностирование, методика оценки, остаточный ресурс, работоспособность, стресс-коррозия, остаточные напряжения, пробное давление.

Key words: carbon steels, low-alloy steels, oil and gas chemical equipment, welded seam, technical diagnosis, evaluation technique, residual resource, serviceability, stress corrosion, residual stresses, trial pressure.

Котлонадзорное оборудование, сосуды, аппараты и трубопроводы в нефтегазохимической отрасли на завершающем этапе изготовления на заводах машиностроения, а также при техническом освидетельствовании и диагностировании в процессе длительной эксплуатации (в особенности, после аварийных отказов и ремонтно-восстановительных работ с применением огневой резки и сварки) подвергаются испытаниям пробным гидравлическим (пневматическим) давлением. Испытания давлением проводят с целью проверки прочности и герметичности сварных соединений оборудования, всех конструктивных элементов, работающих под давлением. Изделия, выдержавшие пробное давление, считаются пригодными к дальнейшей эксплуатации. Оценка технического состояния испытываемого оборудования на пробное давление при пневматических испытаниях обязательно должна производиться с применением метода акустическо-эмиссионного контроля (АЭК). Сроки последующей эксплуатации или переиспытаний назначаются соответствующими нормативно-техническими документами (НТД) без выявления достоверного фактического состояния металла в реальных условиях эксплуатации [1-6].

Действующие НТД по нормированию остаточного ресурса нефтегазохимического оборудования базируются в основном на критериях статической прочности бездефектного металла. Однако действующие НТД не дают достоверного ответа на главный вопрос: – в течение какого

времени эксплуатации будет обеспечена работоспособность, и при каких эксплуатационных условиях. Между тем, в процессе эксплуатации в металле конструктивных элементов происходит постепенное накопление непредсказуемых и непрерывных повреждений и по истечении определенного времени возможны разрушения. Процессы накопления повреждений в металле усиливаются в зонах концентрации напряжений, которыми являются дефекты металлургического, строительного и эксплуатационного характера, а также зоны геометрических конструктивных концентраторов в местах приварки днищ, переходов, патрубков штуцеров в корпус аппарата. При этом, особую опасность представляют трещиноподобные дефекты сварных соединений, холодные и горячие трещины, непровары и подрезы швов, механические (царапины) и коррозионные (стресс-коррозия) повреждения и др. [1-13].

Следовательно, кроме величины пробного и рабочего давления в технических паспортах или сертификатах на нефтегазохимическое оборудование должны быть регламентированы значения расчетного ресурса (время или число циклов нагружения до наступления того или иного предельного состояния) с конкретизацией условий эксплуатации (температуры, скорости коррозии, параметров изменения режима силовых нагрузок и др.).

Решение этой проблемы – задача не простая. Прежде всего, наибольшую сложность в эту проблему вносят концентраторы напряжений, в том числе различные дефекты сварных соединений и основного металла, которые приводят к крайне неравномерному распределению напряжений и деформаций, возникновению локализованных пластических деформаций, изменению свойств металла из-за деформационного охрупчивания и старения, другие нагружающие факторы. Кроме того, в расчетах ресурса безопасной эксплуатации необходимо учитывать повреждаемость металла по времени, что дополнительно усложняет решение подобных задач. Особую сложность

представляет оценка сварных ресурса элементов оборудования при одновременном действии нескольких повреждающих во времени факторов с учетом различного рода дефектов, в особенности и трещиноподобных [1-4]. Заметим также, что практически открытой остается проблема охрупчивания металла в процессе эксплуатации оборудования из конструкционных низколегированных сталей повышенной прочности, обусловленных процессами образования неравновесных пересыщенных твердых растворов закалки или процессами старения, приводящих к потере вязкости, коагуляции карбидов, коррозионной стойкости и т.п. [8-12].

До 80-85 % оборудования нефтегазовой отрасли изготавливаются с применением углеродистых сталей (марок ВСт3, 10, 20, 20Л, 20ЮЧ) и низколегированных марганцовистых и марганцово-кремнистых (марок 16ГС, 17ГС, 09Г2С, 09Г2С, 10Г2С1Д, 09Г2СЮЧ и др.). Они относятся к хорошо сваривающимся сталям практически всеми видами сварки плавлением, у них высокая стойкость против образования холодных и горячих трещин, лишь на участках перегрева может быть крупнозернистая видманштеттова структура с незначительным упрочнением при нарушениях технологических режимов сварки. Условия эксплуатации такого оборудования, как правило, соответствуют условиям статического нагружения, температурные условия эксплуатации не вызывают существенных структурно-механических изменений, и в основном при длительной эксплуатации наблюдается сплошная равномерная коррозия металла стенок конструктивных элементов оборудования [1-6].

Существующие средства диагностики не всегда обеспечивают достаточную и объективную информацию о фактической дефектности элементов оборудования. Вероятность эксплуатации оборудования с недопустимыми дефектами, в том числе и с трещинами, даже при 100 %-ном контроле сварных соединений достаточно велика. Вопрос о продлении срока службы оборудования должен решаться на базе всестороннего анализа напряжено-деформированного состояния и дефектности металла,

изменения его свойств и др. Методы прогнозирования работоспособности оборудования недостаточно совершенны и требуют большого количества информации, получение которой связано со значительными материальными и трудовыми затратами. В связи с этим большой практический интерес представляет разработка таких методов оценки ресурса оборудования, которые гарантировали бы безопасную эксплуатацию в период назначенного срока службы при минимальных затратах на его диагностирование [1, 3-9].

Регламентируемые при техническом диагностировании методы неразрушающего контроля качества (ультразвуковой, цветной, магнитопорошковый и другие методы дефектоскопии) обусловлены необходимостью подготовки поверхностей мест контроля до сравнительно высокой чистоты шероховатости (по R_z не менее 20-40 мкм).

Имеющиеся средства зачистки (в основном ручная обработка углошлифовальной машинкой) и практическое отсутствие средств механизации при обработке не гарантируют качественную подготовку поверхностей контроля, при труднодоступности и различном их пространственном расположении на поверхности обследуемого объекта (на сосудах, технологических трубопроводах, змеевиках трубчатых печей и т.п.) целесообразно ограничить объем диагностического контроля методами, требующими механической зачистки. При обработке абразивными шлифовальными кругами вручную трудно обеспечить равномерность обработки и исключить образование грубых повреждений типа рисок, задиров и тому подобных дополнительных, наиболее опасных механических повреждений конструктивных элементов оборудования в местах зачистки. Такие механические трещиноподобные повреждения металла способствуют повышению склонности к хладноломкости металла, коррозионному растрескиванию и другим повреждениям.

Предпусковое или периодическое гидравлическое испытание, также как механические испытания образцов, вырезанных из элементов

диагностируемого аппарата, рассматриваются как методы разрушающего контроля.

В работах, выполненных под руководством профессора Р.С. Зайнуллина и его учениками докторами технических наук Р.Г. Шарафиевым, А.С. Надршиным, А.А. Халимовым, испытания нефтегазохимического оборудования рассматриваются как *метод активной диагностики* и обеспечения определенного запаса прочности [6-9]. Запас прочности можно оценивать отношением пробного давления к рабочему, который по действующим НТД составляет от 1,1 до 1,5. При определенных условиях эти значения коэффициента запаса прочности могут обеспечивать безопасность эксплуатации оборудования.

Для оценки работоспособности разработаны методики расчетной оценки ресурса элементов оборудования объектов котлонадзора. В качестве параметра, обеспечивающего заданный ресурс оборудования, принято отношение испытательного $P_{и}$ к рабочему $P_{р}$ давлению в пределах от 1,1 до 1,5 с учетом изменения допускаемого напряжения при максимальной расчетной (рабочей) температуре эксплуатации [1]. В основу расчета остаточного ресурса положен следующий консервативный подход, обеспечивающий определенный запас прочности. Полагается, что в элементах оборудования имеются трещины, размеры которых изменяются в широком диапазоне: от размеров, соответствующих разрешающей способности средств диагностики, до критических, зависящих от параметров испытаний и эксплуатации. При этом за расчетные параметры при оценке ресурса взяты критические размеры трещин, в частности критическая глубина продольной несквозной протяженной трещины. В результате расчеты дают нижнюю оценку долговечности (время или число циклов до разрушения), обеспечивающей достаточный запас долговечности и безопасность эксплуатации. Кроме того, при оценке долговечности исходили из возможности реализации в вершине трещин таких условий, при которых достигается максимальная

интенсивность механохимических процессов локальной коррозии. Использование таких жестких условий и допущений (дающих запас прочности) позволяет в некоторых случаях принимать коэффициент запаса прочности по долговечности равным единице ($n_N = 1$) [1, 4-9].

Положительными эффектами, возникающими после разгрузки при таких жестких условиях гидротытаний оборудования, являются:

- снятие остаточных сварочных напряжений;
- реализация напряжения сжатия в вершине трещиноподобных дефектов;
- выявление недопустимых дефектов, в особенности при совместном использовании АЭ контроля;
- притупление вершины трещин и острых концентраторов напряжений;
- снижение краевых сил и моментов в области сопряжения элементов различной формы и размеров и др.

Все отмеченные факторы способствуют повышению работоспособности оборудования.

Следует отметить, что гидравлические (пневматические) испытания следует рассматривать не только как проверку на герметичность, но и как *метод активной диагностики*, обеспечивающий действительный запас прочности в отличие от расчетных коэффициентов запаса прочности по пределу текучести n_T и прочности n_B . Варьируя параметрами испытаний и эксплуатации, представляется возможным обеспечивать необходимый срок службы оборудования.

Совмещение испытаний с контролем металла методом АЭК (особенно при пневматическом испытании аппарата) представляет возможность исключить разгерметизацию и разрушение оборудования при испытаниях.

Предложенные методы базируются на современных достижениях механики разрушения и механохимической неоднородности металлов, а также на большом объеме лабораторных и натурных испытаний напряженного состояния и долговечности сосудов и труб.

Одним из положительных последствий гидравлических испытаний является снятие сварочных напряжений в конструктивных элементах.

Как известно, в результате неравномерного нагрева и охлаждения металла при сварке в сварном шве и околошовной зоне возникают остаточные напряжения, которые в ряде случаев отрицательно сказываются на работоспособности сосудов и других металлических конструкций. Все методы снятия остаточных напряжений условно разделяются на две группы, основанные на термическом и силовом воздействиях.

Одним из методов второй группы является приложение к сварному соединению внешней нагрузки. Анализ снятия напряжений в сварных соединениях приложением внешней нагрузки рассмотрен в работах Н.О. Окерблома, О.А. Бакши, И.В. Кудрявцева, Р.С. Зайнуллина, А.А. Халимова и др. [1-4, 9-13].

На основании проведенных комплексных исследований и обобщения литературных данных по напряженно-деформированному состоянию, предельных состояний, механохимической неоднородности металлов и механики разрушения получены аналитические формулы для оценки ресурса элементов по параметрам испытаний и эксплуатации в условиях:

- 1) длительного статического нагружения в коррозионных средах;
- 2) повторно-статического нагружения;
- 3) одновременного действия повторно-статических нагрузок и коррозии;
- 4) снижения рабочих нагрузок.

Разработанные методы оценки ресурса оборудования были согласованы с Ростехнадзором России и институтом химического и нефтяного машиностроения ВНИИнефтемаш (г. Москва), являющегося ведущим в вопросах диагностирования отраслевых сосудов и аппаратов.

На основе методики оценки технического состояния нефтегазохимического оборудования по параметрам эксплуатации и

гидравлических испытаний, разработанных в ИПТЭР и УГНТУ, под руководством профессора Зайнуллина Р.С. и доцента Халимова А.А. было выполнено техническое диагностирование и прогнозирование ресурса безопасной эксплуатации более 80 аппаратов 5 технологических установок топливного и масляного производства НПЗ:

а) топливного производства – на установке сернокислого алкилирования 25-4/2 – 6 аппаратов;

б) масляного производства, включающих установки депарафинизации 39/1, 39/2, 39/4 – 54 аппарата и 40/2 – 23 аппарата.

Все обследованные оборудования относятся к сосудам 1 группы.

Диагностированные сосуды были изготовлены из углеродистых сталей марок Ст3, 20К и низколегированных 09Г2С, 10Г2С1. По назначению включали ресиверы, отделители жидкости ОЖ, маслоотделители МО, промышленные сосуды ПС, теплообменники ТО, конденсаторы типа КТВ. Диаметры аппаратов $D = 509 \div 1200$ мм. Рабочие условия $P_{\text{раб}} = 0,62 \div 1,8$ МПа, $T_{\text{раб}} =$ от -50 °С до 400 °С. Рабочая среда – аммиак. Срок их эксплуатации на время обследования составляли в пределах 20-44 года. Скорость общей коррозии конструктивных элементов аппаратов не превышали $0,1$ мм/год.

Вывод

Таким образом, внедренная в производство методика оценки ресурса оборудования по параметрам испытания позволила устанавливать возможность последующей эксплуатации оборудования при гарантированной его безопасности и минимальных затратах на проведение технического диагностирования.

Список используемых источников

1. Халимов А.Г., Зайнуллин Р.С., Халимов А.А. Техническая диагностика и оценка ресурса нефтегазохимического оборудования: учеб. пособие. СПб: ООО «Недра», 2012. 568 с.
2. Ефименко Л.А., Прыгаев А.К., Елагина О.Ю. Металловедение и термическая обработка сварных соединений: учеб. пособие. М.: Логос, 2007. 455 с.
3. Халимов А.А., Халимов А.Г. Работоспособность нефтегазохимического оборудования из жаропрочных хромистых сталей // Мировое сообщество: проблемы и пути решения: сб. ст. Уфа: УГНТУ, 2003. С. 85-97.
4. Оценка технического состояния и ресурса нефтегазохимического оборудования и трубопроводов / Р.С. Зайнуллин, А.Г. Гумеров, А.Г. Халимов, А.Г. Пирогов, А.А. Халимов, О.И. Тарабарин. М.: Недра, 2004. 286 с.
5. Халимов А.А., Худяков Д.С. Особенности напряженного состояния соединений сильфонного компенсатора и трубопровода. Уфа, 2009. 40 с.
6. Халимов А.Г., Зайнуллин Р.С., Халимов А.А. Особенности оценки ресурса безопасной эксплуатации оборудования для переработки нефти // Безопасность жизнедеятельности. 2008. № 2. С. 6-12.
7. Методика расчетной оценки ресурса элементов оборудования объектов котлонадзора / Р.С. Зайнуллин, Н.А. Махутов, Е.М. Морозов, Р.Г. Шарафеев, А.С. Надршин и др.; под ред. К.В. Фролова. Уфа: МНТЦ «БЭСТС», 1997. 21 с.
8. Зайнуллин Р.С. Методика определения трещиностойкости сварных соединений из закаливающих сталей / Р.С. Зайнуллин, А.Г. Халимов, А.А. Халимов. Уфа: УГНТУ, 1996. 27 с.
9. Халимов А.А., Худяков Д.С. Методика определения безопасного срока эксплуатации нефтегазохимического оборудования по данным периодических испытаний. Уфа: МНТЦ «БЭСТС», 2007. 8 с.

10. Халимов А.А. Научные основы технологии ремонта конструктивных элементов из хромомолибденовых сталей. Уфа: УГНТУ, 2007. 115 с.

11. Халимов А.А., Худяков Д.С., Фаизов И.Ф. Оценка допускаемых параметров диффузионных твердых и мягких прослоек в разнородных сварных соединениях // Сварочное производство. 2009. № 10. С. 3-5.

12. Халимов А.А. Определение остаточных напряжений после ремонта напряженных конструктивных элементов оборудования и трубопроводов // Нефтепромысловое дело. 2008. № 12. С. 46-48.

13. Халимов А.Г., Зайнуллин Р.С., Халимов А.А. Особенности ремонта нефтегазохимического оборудования из жаропрочных хромомолибденовых сталей // Обеспечение работоспособности нефтепроводов и сосудов давления. Уфа, 1999. С. 52-61.

References

1. Khalimov A.G., Zainullin R.S., Khalimov A.A. *Tekhnicheskaya diagnostika i otsenka resursa neftegazokhimicheskogo oborudovaniya: ucheb. posobie*. [Technical Diagnostics and Evaluation of the Resource of Oil and Gas Chemical Equipment: Tutorial]. Saint-Petersburg, Nedra Publ., 2012. 568 p. [in Russian].

2. Efimenko L.A., Prygaev A.K., Elagina O.Yu. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka svarnykh soedinenii: ucheb. posobie* [Metallurgy and Heat Treatment of Welded Joints: Tutorial]. Moscow, Logos Publ., 2007. 455 p. [in Russian].

3. Khalimov A.A., Khalimov A.G. Rabotosposobnost' neftegazokhimicheskogo oborudovaniya iz zharoprochnykh khromistykh staley [Performance of oil and gas chemical equipment from heat-resistant chromium steels]. *Sbornik statei «Mirovoe soobshchestvo: problemy i puti resheniya»* [Collection of Articles «World Community: Problems and Solutions»]. Ufa, UGNTU, 2003, pp. 85-97. [in Russian].

4. Zainullin R.S., Gumerov A.G., Khalimov A.G., Pirogov A.G., Khalimov A.A., Tarabarin O.I. *Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya i resursa neftegazokhimicheskogo oborudovaniya i truboprovodov* [Assessment of the Technical Condition and Resource of Oil and Gas Chemical Equipment and Pipelines]. Moscow, Nedra Publ., 2004. 286 p. [in Russian].

5. Khalimov A.A., Khudyakov D.S. *Osobennosti napryazhennogo sostoyaniya soedinenii sil'fonnogo kompensatora i truboprovoda* [Features of the Stress State of the Joints of the Bellows Expansion Joint and the Pipeline]. Ufa, 2009. 40 p. [in Russian].

6. Khalimov A.G., Zainullin R.S., Khalimov A.A. *Osobennosti otsenki resursa bezopasnoi ekspluatatsii oborudovaniya dlya pererabotki nefti* [Features of Estimation of Resource of Equipment for Oil Processing Safe Operation]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti – Life Safety*, 2008, No. 2, pp. 6-12. [in Russian].

7. Zainullin R.S., Makhutov N.A., Morozov E.M., Sharafiev R.G., Nadrshin A.S. e.a. *Metodika raschetnoi otsenki resursa elementov oborudovaniya ob"ek-tov kotlonadzora* [Methodology of Resource Estimation of Boiler Inspection Facilities Equipment Elements]. Ufa, MNTTs «BESTS», 1997. 21 p. [in Russian].

8. Zainullin R.S., Khalimov A.G., Khalimov A.A. *Metodika opredeleniya treshchinostoikosti svarnykh soedinenii iz zakalivayushchikhsya stalei* [Method for Determining the Crack Resistance of Welded Joints of Quenched Steels]. Ufa, UGNTU, 1996. 27 p. [in Russian].

9. Khalimov A.A., Khudyakov D.S. *Metodika opredeleniya bezopasnogo sroka ekspluatatsii neftegazokhimicheskogo oborudovaniya po dannym periodicheskikh ispytaniy* [Method for Determining the Safe Operation Life of Oil and Gas Chemical Equipment According to Periodic Tests]. Ufa, MNTTs «BESTS», 2007. 8 p. [in Russian].

10. Khalimov A.A. *Nauchnye osnovy tekhnologii remonta konstruktivnykh elementov iz khromomolibdenovykh stalei* [Scientific Fundamentals of Technology of Repair of Structural Elements from Chromomolybdenum Steels]. Ufa, UGNTU, 2007. 115 p. [in Russian].

11. Khalimov A.A., Khudyakov D.S., Faizov I.F. Otsenka dopuskaemykh parametrov diffuzionnykh tverdyykh i myagkikh prosloek v raznorodnykh svarnykh soedineniyakh [Estimation of Permissible Parameters for Diffusion Hard and Soft Interlayers in Dissimilar Welded Joints]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding Production*, 2009, No. 10, pp. 3-5. [in Russian].

12. Khalimov A.A. Opredelenie ostatochnykh napryazhenii posle remonta napryazhennykh konstruktivnykh elementov oborudovaniya i truboprovodov [Determination of Residual Stresses after Repair of Stressed Structural Components of Equipment and Pipelines]. *Neftepromyslovoye delo – Oilfield Engineering*, 2008, No. 12, pp. 46-48. [in Russian].

13. Khalimov A.G., Zainullin R.S., Khalimov A.A. Osobennosti remonta neftegazokhimicheskogo oborudovaniya iz zharoprochnykh khromomolibdenovykh stalei [Features of Repair of Oil and Gas Chemical Equipment made from Heat-Resistant Chrome-Molybdenum Steels]. *Obespechenie rabotosposobnosti nefteprovodov i sosudov davleniya* [Maintenance of Working Capacity of Oil Pipelines and Pressure Vessels]. Ufa, 1999, pp. 52-61. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Зарипов М.З., канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

M.Z. Zaripov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Assistant Professor of Technology of Petroleum Apparatus Construction Department, FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

e-mail: mzzaripov@mail.ru

Хабиров И.М., соискатель кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

I.M. Khabirov, applicant of Technology of Petroleum Apparatus Construction Department, FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

e-mail: khim2008@yandex.ru

Халимов М.Ф., магистрант кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

M.F. Khalimov, Undergraduate Student of Technology of Petroleum Apparatus Construction Department, FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

e-mail: maratxalimov@yandex.ru