

DOI: 10.24000/0409-2961-2023-12-29-39

УДК 62.937

© Коллектив авторов, 2023

О подходах к обеспечению герметичности оборудования высокого давления при его эксплуатации



В.К. Погодин,
д-р. техн. наук, гл.
специалист,
vkpogodin@yandex.ru



К.А. Кузнецов,
канд. техн. наук, первый
зам. ген. директора



С.Ю. Трутаев,
канд. техн. наук, начальник
службы



Н.А. Верхозин,
руководитель группы

ООО «НТЦ «ИркутскНИИхиммаш», Иркутск, Российская
Федерация

Инженерно-технический
центр – филиал ООО «Газпром
добыча Иркутск», Иркутск,
Российская Федерация

ООО «ИНК», Иркутск,
Российская Федерация

Анализ методов эксплуатации оборудования высокого давления показал, что при их применении в качестве основного критерия оценки технического состояния используется критерий прочности. Однако такой подход противоречит функциональному назначению данного оборудования — обеспечению герметичности замкнутых технологических пространств. Для повышения безопасности и герметичности оборудования при выборе метода его эксплуатации предложены специальные схемы герметизации и контроля герметизирующих узлов, позволяющие проводить цифровизацию их технического состояния. Использование такого подхода позволит управлять процессом обеспечения герметизации оборудования высокого давления при его эксплуатации, что подтверждено работами АО «ИркутскНИИхиммаш».

Ключевые слова: оборудование высокого давления, методы эксплуатации, техническое состояние, критерий прочности, герметичность, методы эксплуатации, герметизирующий узел, цифровизация.

Для цитирования: Погодин В.К., Кузнецов К.А., Трутаев С.Ю., Верхозин Н.А. О подходах к обеспечению герметичности оборудования высокого давления при его эксплуатации// Безопасность труда в промышленности. 2023. № 12. С. 29–39.
DOI: 10.24000/0409-2961-2023-12-29-39

On Approaches to Ensuring the Tightness of High-pressure Equipment during its Operation

V.K. Pogodin, Dr. Sci. (Eng.), Chief Specialist, vkpogodin@yandex.ru, JSC «Scientific and Technical Center «IrkutskNIHimmash», Irkutsk, Russian Federation

K.A. Kuznetsov, Cand. Sci. (Eng.), First Deputy General Director, JSC «Scientific and Technical Center «IrkutskNIHimmash», Irkutsk, Russian Federation

S.Yu. Trutaev, Cand. Sci. (Eng.), Head of the Geotechnical Monitoring Service, Engineering and Technical Center — the subsidiary of LLC «Gazprom Dobycha Irkutsk», Irkutsk, Russian Federation

N.A. Verkhozin, Head of the technical supervision group, LLC «Irkutsk Oil Company», Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The operation of high-pressure equipment requires special attention from the point of view of ensuring its safety. This problem is becoming increasingly relevant every year. According to various estimates, currently 60–80 % of high-pressure equipment at the industrial enterprises has already exhausted its standard service life. In this regard, there is a need to select and develop a promising method of operating production equipment that would consider the peculiarities of the state of modern domestic industry.

The conducted analysis of the methods of operating high-pressure equipment showed that the strength criterion is used as the main criterion for assessing the technical condition of various devices and assemblies included in its composition. However, this approach contradicts the functional purpose of high-pressure equipment — its tightness. To increase the safety and tightness of such equipment when choosing a method of its operation, special schemes for sealing and monitoring of sealing units are proposed, allowing for conducting digitalization of their technical condition.

Using this approach will allow to manage the process of ensuring the sealing of high-pressure equipment during its operation. Positive test results of the modernized sealing units in high-pressure equipment, subject to operating conditions, are a sufficient argument for its approval for use.

The inclusion in the regulations on the system of maintenance and repair of enterprises operating hazardous production facilities, the requirements for ensuring the tightness of sealing units will allow:
 reduce the risk of depressurization of the sealing units;
 increase production profitability by reducing emissions;
 maintain the sustainability of the business using high pressure equipment.

The feasibility of using this approach was repeatedly confirmed by the work of JSC IrkutskNIIkhim mash.

Keywords: high-pressure equipment, operating methods, technical condition, strength criterion, tightness, operating methods, sealing unit, digitalization.

For citation: Pogodin V.K., Kuznetsov K.A., Trutaev S.Yu., Verkhozin N.A. On Approaches to Ensuring the Tightness of High-pressure Equipment during its Operation. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2023. № 12. pp. 29–39. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2023-12-29-39

Введение

Основополагающим функциональным назначением оборудования, работающего под воздействием высоких давлений (ВД), является обеспечение герметичности замкнутых пространств, в которых совершаются технологические процессы. Эта функция оборудования ВД в значительной степени зависит от технического состояния (ТС) его деталей и узлов. Регламентируется ТС оборудования ВД и его деталей специальными нормативными документами, применяемыми технологиями при их изготовлении, ремонте, диагностировании и эксплуатации.

Эксплуатация оборудования ВД — сложный производственный процесс, который включает периоды работы, простои, периодические ремонты, техническое обслуживание, во время которых его работоспособность либо снижается, либо восстанавливается. Период эксплуатации оборудования включает весь срок его жизненного цикла от выпуска заводом-изготовителем до утилизации.

Эксплуатация оборудования ВД требует особого внимания с точки зрения обеспечения безопасности. Эта проблема с каждым годом приобретает все большую актуальность.

Цель статьи — определение условий для повышения безопасности оборудования ВД в системе технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) и требований по обеспечению основного критерия его функциональности — герметичности.

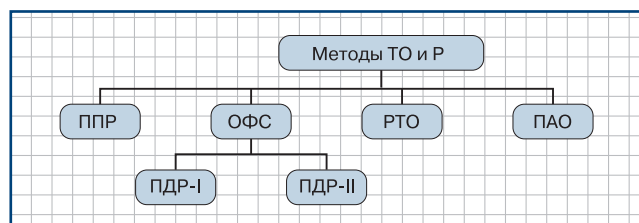
Применение оценки технического состояния герметизирующих узлов оборудования высокого давления в методах его эксплуатации

По различным оценкам, в настоящее время 60–80 % оборудования ВД на промышленных предприятиях уже отработало свой нормативный ресурс. В связи с этим возникает необходимость выбора и разработки перспективного метода эксплуатации производственного оборудования [1–5], который бы учитывал особенности состояния современной отечественной промышленности.

Методы эксплуатации, применяемые на конкретных предприятиях, отличаются друг от друга системами ТО и Р.

Различают следующие основные системы ТО и Р (рис. 1):

планово-предупредительные ремонты (ППР);



▲ Рис. 1. Системы ТО и Р

▲ Fig. 1. Systems of maintenance and repair

ТО и Р по фактическому состоянию (ОФС);
 реагирующее техническое обслуживание (РТО);
 проактивное обслуживание (ПАО).

Применяют следующие разновидности системы ОФС:

с планированием сроков ремонта (система планово-диагностических ремонтов ПДР-I);

с планированием сроков диагностических проверок (система ПДР-II).

В настоящее время наиболее распространенным способом обеспечения требуемого ТС технологического оборудования остается система ППР. Требования к проведению ППР сведены в «Положение о системе технического обслуживания и ремонта технологического оборудования нефтехимических производств предприятий химической и нефтеперерабатывающей промышленности» [6].

Согласно этому положению профилактические и ремонтные воздействия на оборудование проводятся по планам-графикам, составленным в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя, через определенные промежутки времени в зависимости от вида работ. При таком обслуживании имеется возможность воспользоваться гарантией завода-изготовителя.

Система ППР предусматривает проведение ТО и Р до отказа, время наступления которого определяется с заданной вероятностью. Таким образом, период между обслуживаниями составляет время, в течение которого 98 % оборудования сохраняет свою работоспособность, а значит, плановые остановки его на профилактику ведут к необоснованным простоям. При этом примерно половина из мероприятий ТО и Р выполняется без фактической на то необходимости.

В период перехода от централизованного управления экономикой к рыночному хозяйству про-

являются противоречия между финансовыми возможностями предприятий и планируемыми в соответствии с требованиями нормативно-правовых актов затратами на ТО и Р [6]. Необоснованные простои ведут к запланированным убыткам. Эксплуатационные затраты предприятий различных отраслей с функционирующей системой ППР составляют 6–18 % себестоимости продукции, что сопоставимо с планируемой прибылью. Наибольший процент приходится на нефтехимию, поскольку производственное оборудование промышленных объектов, цехов и установок содержит разнообразные виды машин, аппаратов, агрегатов и т.д. Обеспечение их работоспособности представляет собой совокупность различных технологических процессов. Например, для самого сложного оборудования планируется проведение раз в три года капитального, раз в два года среднего и раз в год — текущего ремонта [6]. При этом капитальный ремонт предусматривает полную разборку оборудования, восстановление его работоспособности, замену деталей и сборку. При среднем и текущем ремонтах выполняются частичные разборочно-сборочные операции. Выполнение необоснованных разборочных операций при плановых ремонтах приводит к значительным эксплуатационным затратам, поскольку любая разборка, особенно оборудования ВД, связана с повреждением исправных крепежных деталей и герметизирующих поверхностей в герметизирующих узлах (ГУ).

В силу изложенных причин предприятия по мере необходимости исключают из технологического процесса частично или полностью ряд обязательных мероприятий ТО и Р. В итоге наблюдается вынужденный переход к такому виду обеспечения работоспособности оборудования, когда его ремонт и замена проводятся в случае выхода из строя или выработки ресурса, т.е. от системы ППР переходят к системе РТО.

Система РТО сосуществует с системой ППР и дает положительный эффект при обслуживании вспомогательного и относительно недорогостоящего оборудования, когда при наличии резервирования дешевле его заменить, чем обслуживать и ремонтировать. Техничко-экономический анализ производственной деятельности подразделений химических предприятий показывает, что простое сокращение профилактических и ремонтных воздействий, предусмотренных положением, практически не снижает эксплуатационные расходы. Однако постепенный переход к обслуживанию по системе РТО основного оборудования значительно увеличивает вероятность его отказов, в том числе аварийных. Главными причинами аварийности (до 75 %) являются слабая организация и некачественное проведение ремонтных работ.

Очевидно, что в сложившихся экономических условиях требуется более эффективная концепция обеспечения работоспособного ТС технологического

оборудования опасных производств, характерных для химической и нефтехимической отрасли [5, 7].

Обоснование применения оценки технического состояния герметизирующих узлов оборудования высокого давления в методах его эксплуатации

Такой подход существует. Его главным отличием от системы ППР является то, что по плану проводится только диагностический контроль ТС оборудования. Результаты постоянной или периодической диагностики определяют необходимость проведения тех или иных видов ремонтов. Такая система называется ОФС или ПДР.

В настоящее время целые отрасли промышленности зарубежных стран перешли на систему обслуживания оборудования ОФС. Простое применение готовых зарубежных технологий контроля ТС оборудования и систем ТО и Р на отечественных предприятиях не всегда возможно из-за существенного различия технологического оборудования, уровня и организации производства, методов и средств диагностического контроля.

Надежность и эффективность системы ПДР достигается в результате обеспечения:

- при проектировании и изготовлении:
 - заданного уровня работоспособности и надежности оборудования;
 - повышенной живучести при возможных поломках;
 - высокого уровня эксплуатационной технологичности;
- при эксплуатации:
 - мониторинга текущего состояния оборудования и выявления предотказных состояний;
 - обнаружения отказов и неисправностей на ранних стадиях их развития за счет регулярного контроля параметров;
 - периодической оценки и прогнозирования уровня работоспособности при эксплуатации;
 - использования современных методов и средств технического диагностирования, преимущественно ориентированных на эксплуатационную диагностику;
 - наличия и ведения единой многоуровневой информационно-справочной системы ТО и Р, а также системы оперативного анализа эффективности технической эксплуатации, обслуживания и ремонта оборудования.

Основными критериями эффективности внедрения любой системы являются обеспечение надежности работы оборудования, предупреждение аварий при наиболее полном использовании его межремонтного ресурса и, как следствие, сокращение эксплуатационных затрат.

Положительный опыт ряда отечественных предприятий газонефтехимии, частично или полностью перешедших на новую систему обслуживания, подтверждает возможность:

- минимизации числа внезапных отказов;

получения постоянной информации о ТС оборудования;

увеличения межремонтных интервалов на 15–40 %;

повышения эффективности основного производства от 2 до 10 %.

Функционирование системы ПДР основано на стратегии непрерывного управления ТС производственного оборудования [8, 9], которая представляет собой совокупность технологий и мероприятий, обеспечивающих:

сбор объективных инструментальных данных о ТС;

обработку и анализ полученных данных, заключающийся в оценке их с точки зрения предельных критериев диагностических параметров технологического оборудования;

оптимальное, в соответствии с полученными результатами, управление ТО и Р;

проведение на предприятии цифровизации единой базы данных о состоянии оборудования и выполненных мероприятиях.

Анализ современных методов диагностирования оборудования нефтегазохимических производств показывает, что основными источниками получения диагностических параметров являются комплексы для мониторинга ТС сосудов, аппаратов, насосов, компрессоров, трубопроводов, трубопроводной арматуры и др. типов оборудования [10, 11]. При этом наиболее эффективно использование стационарных систем мониторинга с автоматизированной обработкой информации [9, 12].

Первые практические результаты внедрения диагностических комплексов мониторинга на ряде предприятий России позволяют окупить первоначальные затраты и получать дополнительную прибыль [1, 9]. В связи с этим существует объективная необходимость перехода на новую систему ОФС промышленного оборудования, начиная с малых производственных подразделений.

Ростехнадзор рассматривает применение системы ОФС, основанной на постоянном диагностическом контроле оборудования, как один из возможных резервов повышения уровня промышленной безопасности [1, 7, 9–12].

Эффективность применяемых систем ТО и Р может быть повышена при использовании системы ПАО (см. рис. 1) за счет оценки эффективности применяемой системы ТО и Р, анализа повторяющихся дефектов, выработки мероприятий по увеличению пробега. При этом системы ПАО должны содержать блоки оптимизации и самонастройки.

Целью ПАО является минимизация объема ТО и Р с одновременной максимизацией межремонтных сроков эксплуатации оборудования за счет идентификации и анализа факторов, влияющих на этот срок, применения современных технологий обнаружения и устранения источников отказов.

При применении ПАО становится возможным: определять и устранять источники повторяющихся отказов, приводящих к сокращению межремонтного пробега оборудования;

значительно уменьшить количество факторов, отрицательно влияющих на межремонтный или общий срок эксплуатации оборудования;

использовать входной контроль нового или отремонтированного сторонними организациями оборудования для устранения дефектов изготовления и сборки;

проводить выходной контроль монтажных, наладочных и ремонтных работ на оборудовании в соответствии с ТУ и научно-технической документацией.

Необходимым элементом ПАО должен стать анализ причин внеплановых остановов, аварий при укороченных межремонтных интервалах, направленный на выявление повторяющихся проблем, возникающих при эксплуатации оборудования.

Причины возникновения дефектов и отказов (в том числе в начале срока службы) могут быть связаны:

- с конструкторскими дефектами;
- с неправильным применением;
- с производственными дефектами (некачественные материалы, изготовление, сборка);
- с эксплуатационными дефектами (нарушение технологии монтажа и соединения деталей и узлов, ненужное ТО, нарушение условий эксплуатации);
- с технологическими дефектами (отклонение рабочих параметров от номинальных).

Очевидно, что для внедрения новых стратегий обеспечения безопасности и работоспособности оборудования необходимы дополнительные средства. Но если учесть, что в химической и нефтехимической промышленности коэффициент обновления основных фондов составляет менее 2 %, что ниже минимально необходимого в четыре раза, а износ оборудования достигает 70 %, то обеспечить безопасное функционирование и повышение эффективности производства без инвестиций невозможно [7].

Главным инвестором остаются сами предприятия, на долю которых приходится 84 % всего объема инвестиций, в том числе почти 70 % — за счет собственных средств. В результате финансовые ресурсы предприятий для осуществления инвестиций в 3–5 раз меньше объема износа и выбытия основных фондов.

В таких условиях решение проблемы заключается в поэтапном формировании структуры ПДР самих предприятий в рамках общепринятой стратегии ОФС ТС [1, 9]. Внедрение систем постоянного и периодического мониторинга следует начинать с учетом результатов функционально-стоимостного анализа состояния оборудования, причем с его приоритетных групп и видов, в большей степени влияющих на эксплуатационные затраты [10].

Для реализации системы ТО и Р требуется разработка методов управления и организации взаимодействия подразделений и служб предприятия различных уровней (установка, цех, завод). Начинать внедрение системы целесообразно с малых производственных объектов посредством отработки на них внедряемых ТО и Р, что эффективно в условиях нынешней экономической ситуации.

При внедрении системы ТО и Р по фактическому ТС на некоторых предприятиях отмечается снижение объема производства с одновременным незначительным снижением затрат на проведение ремонтов.

Причины обусловлены существующей организацией системы ТО и Р технологического оборудования. Фактически из предусмотренных документом [10] мер выполняются только профилактические мероприятия по техническому обслуживанию. Плановые текущие ремонты заменены сопутствующими ремонтами, при которых устраняются неисправности, обнаруженные в процессе обслуживания. Другие ремонты выполняются по необходимости, в случае возникновения отказов. Следовательно, обеспечение исправного ТС оборудования установок при таком подходе соответствует системе РТО, которая эффективна для несложного вспомогательного оборудования. При такой организации необходимость ремонта может возникнуть в любой момент, а из-за отказа одного типа оборудования может простаивать все производство.

Неудачное внедрение системы эксплуатации оборудования по фактическому состоянию объясняется отсутствием у предприятий необходимых нормативных документов, соответствующего оборудования, баз данных, необходимых структур взаимодействия служб и подразделений и др. Как правило, это обусловлено отсутствием на предприятии общего положения по переводу оборудования на эксплуатацию по фактическому ТС. Кроме того, обслуживание разных типов оборудования на одном и том же предприятии может выполняться разными системами ТО и Р. В связи с этим коллективом АО «ИркутскНИИхиммаш» разрабатывались положения по ТО и Р и контролю за ТС технологического оборудования установок для конкретных промышленных предприятий по [12]. Рациональность использования такого подхода очевидна.

Основной задачей системы ТО и Р по [12] является обеспечение поддержания технологического оборудования предприятия в исправном состоянии в течение срока его службы и своевременной замены выработавшего ресурс оборудования.

В основе предлагаемой системы ТО и Р лежит концепция, в соответствии с которой одна часть оборудования предприятия эксплуатируется по системе РТО, другая по системе ППР, а третья — по фактическому состоянию. Для этого в составе производственных комплексов предприятия на уровне главного механика и энергетика определяется перечень оборудования, эксплуатируемого по той или

иной системе. При этом существенным фактором при определении перечня оборудования, эксплуатируемого по фактическому ТС, является наличие на предприятии необходимого диагностического оборудования, нормативно-технической базы и подготовленных кадров.

Практическая реализация указанной системы ТО и Р на предприятии предполагает:

- систематизацию и учет объектов ТО и Р — как в целом систем, так и входящих в них единиц оборудования, и систематический контроль ТС этих объектов;

- разработку и совершенствование нормативных документов на освидетельствование и ремонт оборудования;

- оснащение служб предприятия, а также технических объектов необходимым для проведения работ по ТО и Р оборудованием;

- долгосрочное планирование ТО и Р с совершенствованием системы и оборудования;

- подготовку работ по ТО и Р, включая их материально-техническое обеспечение;

- поддержание и повышение квалификации персонала;

- поддержание исправности средств ТО и Р;

- вывод систем и оборудования из работы на ТО и Р с соблюдением условий безопасной эксплуатации;

- рациональную организацию выполнения плановых работ по ТО и Р оборудования;

- оперативную организацию ремонтных работ при отказах оборудования — непланового ремонта;

- обеспечение качества выполнения работ, включая проверку (испытание) систем и оборудования после ТО и Р;

- анализ и оценку эффективности ТО и Р.

Экономическая эффективность эксплуатации оборудования может быть достигнута путем выбора оптимального, обеспечивающего наилучшее выполнение целевой функции, сочетания методов ТО и Р: минимум удельной стоимости ТО и Р и максимум коэффициента использования оборудования при заданном уровне надежности.

Для создания гибкой системы ТО и Р, позволяющей с учетом особенностей эксплуатации обеспечить необходимую эффективность при минимальных затратах, необходимо в пределах конкретного предприятия выполнить дифференциацию оборудования по степени важности его для производства — по группам критичности.

Для этого могут использоваться 5 групп оценки критичности оборудования, представленные в таблице.

Отнесение каждой конкретной единицы оборудования предприятия к той или иной группе критичности следует определять с учетом действующей технологической схемы предприятия, а также по результатам функционально-стоимостного анализа парка действующего оборудования.

Группа	Значение	Характеристика принадлежности к группе
1	Очень критичное	Оборудование, абсолютно необходимое для непрерывного выпуска продукции
2	Критичное	Оборудование, выход из строя которого сокращает выпуск продукции на 50 %
3	Среднекритичное	Оборудование, выход из строя которого сокращает выпуск продукции на треть
4	Малокритичное	Оборудование, выход из строя которого сокращает выпуск продукции на 10 %
5	Некритичное	Оборудование, которое может быть заменено

Пример разделения оборудования по стратегиям ТО и Р для нефтехимической, нефтеперерабатывающей отраслей может быть представлен следующим образом: 50 % — ОФС, 35 % — ППР, 15 % — РТО [%].

Для первой группы оборудования в соответствии с [12] должны выполняться следующие виды оценки технического состояния деталей и узлов:

- на работоспособность и остаточный ресурс;
- на герметичность ГУ.

Кроме того, должны выполняться ремонт и восстановление, модернизация и совершенствование конструкций.

При совершенствовании систем ТО и Р, как и при их проектировании, до сих пор в качестве основного критерия используется критерий прочности деталей [12–16]. При этом не учитывается, что самым главным функциональным свойством оборудования ВД является его герметичность. Только при наличии этой функции можно обеспечить замкнутость объемов в оборудовании ВД, необходимую при проведении в нем технологических процессов.

Важную роль в обеспечении герметичности оборудования ВД играют ГУ, в том числе за счет прочности их деталей. Герметичность таких деталей и узлов, как корпуса, фланцы, другие сварные узлы обеспечивается за счет прочности и плотности их материалов при изготовлении. Для надежной работоспособности деталей ГУ они должны, кроме прочности и плотности материалов, обладать характерными для каждой конструкции параметрами и свойствами, которые могут быть обеспечены при проведении ТО и Р.

Исторически сложилось устойчивое мнение, согласно которому каждый слесарь знает, как обеспечить герметичность ГУ. Из-за такого сформировавшегося отношения проектировщиков, изготовителей и эксплуатационников к ГУ, в частности, к их герметичности, проблемы обеспечения герметичности оборудования ВД не решались на протяжении длительного времени. И только после того как на предприятиях, использующих оборудование ВД, участились аварийные ситуации из-за разгерметизации

ГУ, для решения этой проблемы по рекомендации Ростехнадзора стали привлекать специалистов профильных организаций.

В результате разработаны методики, нормативные материалы и критерии экспертных систем для оценки ТС (при эксплуатации, ремонте и диагностике) и увеличения сроков безопасной эксплуатации ГУ. Наличие разработанных методик и нормативных документов позволило принимать решения в зависимости от состояния ГУ: продолжить эксплуатацию; вывести его в ремонт и определить объем ремонта, который должен быть выполнен; разработать перечень мероприятий, которые должны быть выполнены в каждом случае разгерметизации и аварии; уточнить базы данных, с помощью которых оценивается состояние ГУ в конкретных типах оборудования на установках, в цехах, на заводах.

Проведенный анализ действующих нормативных документов показал, что многие из них не учитывают результаты исследований, проведенных в последние годы в области разработки и оценки работоспособности ГУ. Актуальность применения таких документов очевидна для оборудования ВД, конструкции которых имеют большое число ГУ. К таким конструкциям могут быть отнесены трубопроводная арматура, автоматические газожидкостные системы для управления технологическими процессами и др.

Одной из причин такой ситуации является отсутствие в ТР ТС 032/2013* требований о необходимости включения в нормативные документы по оценке работоспособности и герметичности ГУ положения об обеспечении безопасности оборудования ВД в период его эксплуатации.

Для исправления этого авторами направлялись предложения в компетентные организации, которые до сих пор в действующих нормативных документах не учтены. Подобные предложения были также зафиксированы резолюцией Форума арматуростроителей России, проходившего 20–21 сентября 2018 г. в Кургане [17]. В этом документе также отмечалось, что современное технологическое оборудование ВД включает тонко настраиваемые ГУ, что требует неукоснительного соблюдения необходимых требований при их эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте. Несоблюдение этих требований, как правило, приводит к нарушению работы и выходу из строя оборудования ВД, что недопустимо на опасных производственных объектах.

Отсутствие нормативной базы в части требований по диагностированию и документальной фиксации исходного технического состояния ГУ на этапах ввода оборудования в эксплуатацию препятствует переходу к его ремонту по фактическому состоянию.

* ТР ТС 032/2013. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением». URL: <https://docs.cntd.ru/document/499031170> (дата обращения: 01.12. 2023).

Сложившаяся ситуация затрудняет управление процессами не только проектирования и изготовления, но также и эксплуатации ГУ, снижая уровень управления системы обеспечения безопасности технологического оборудования ВД.

В соответствии с разработанными документами к ГУ в процессе проведения ТО и Р должны предъявляться следующие требования:

наличие постоянной информации о состоянии ГУ, возможность его технического обслуживания без остановки производства, минимизация внезапных отказов оборудования;

прогнозирование и планирование объемов ремонта ГУ, оптимизация процесса подготовки к ремонту, в том числе запасных частей, инструмента, за счет эффективного планирования рабочего времени персонала;

снижение объема ремонтных работ ГУ за счет выявления и устранения причин возникновения характерных дефектов;

обеспечение эффективности работы ГУ за счет обязательного проведения входного контроля качества и послеремонтной диагностики.

С учетом этих требований специалисты «ИркутскНИИхиммаш» разработали систему мониторинга, позволяющую управлять эксплуатацией и ремонтом ГУ через оценку их ТС, необходимую для принятия и реализации решений, направленных на повышение ресурса работы оборудования [17, 18]. Предлагаемая система (рис. 2) содержит основные

перспективные направления деятельности производственных и эксплуатационных служб предприятия, порядок взаимодействия служб друг с другом, а также со внешними контролирующими структурами (Ростехнадзор, МЧС и др.) и поставщиками оборудования, запчастей и деталей.

Основными задачами представленной системы мониторинга являются:

определение ТС и принятие решения о пригодности ГУ выполнять свои функции в настоящий момент времени;

определение места и причин неисправностей (диагностика ГУ);

прогнозирование ТС и принятие решения о пригодности ГУ выполнять свои функции в будущий момент времени;

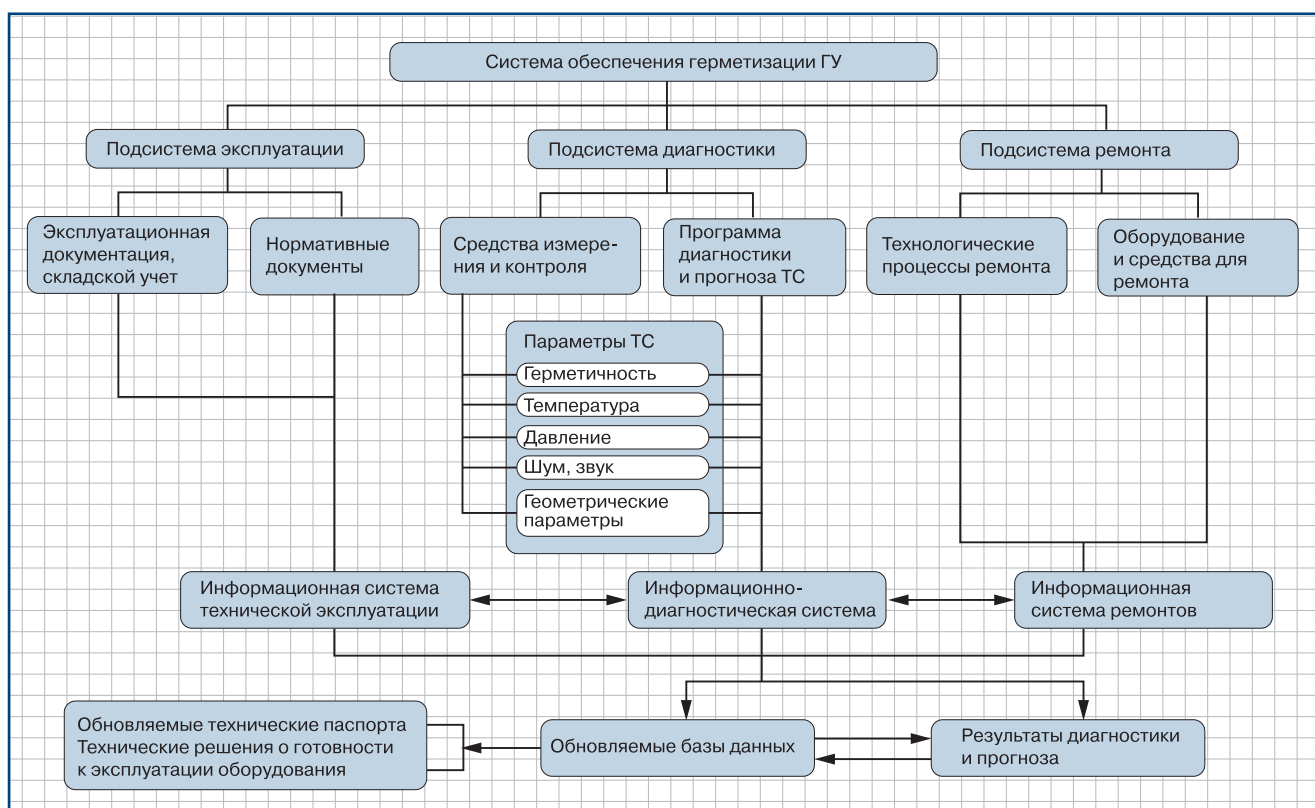
назначение оптимального ТО и Р каждого ГУ в соответствии с его ТС;

получение исходных данных для анализа влияния условий эксплуатации, конструкции и технологии производства на качество функционирования ГУ.

Эта система включает в себя следующие подсистемы: эксплуатации, диагностики и ремонта. Взаимосвязь подсистем осуществляется посредством соответствующих информационных систем, с помощью которых формируется, поддерживается и обновляется информация, содержащая сведения:

о применяемых средствах измерений, контроля и испытаний;

о параметрах ТС каждого ГУ;



▲ Рис. 2. Система герметизации ГУ оборудования ВД при проведении ТО и Р

▲ Fig. 2. Sealing system of the sealing units of the high pressure equipment during maintenance and repair

об эксплуатационных характеристиках ГУ;
о применяемой нормативной, эксплуатационной и ремонтной документации;

об объемах, частоте, количестве и качестве проведенных ремонтов каждого ГУ.

Записи о неисправностях ГУ, выявленных во время эксплуатации при ежедневном техническом осмотре и обслуживании, заносятся в базы данных по эксплуатации. Они должны содержать информацию о неисправностях, повлекших за собой преждевременные ремонты и регулировки с остановкой из-за отклонения параметров от нормативных значений.

Для удобства пользования в информационной системе реализована возможность добавления файлов любых форматов, содержащих схемы технологических установок, в сопроводительную документацию, сканированные документы, графические документы в виде фотографий.

При помощи информационной системы возможно своевременно получать данные не только о возникновении той или иной неисправности ГУ во время эксплуатации, но и о предыстории развития и методах устранения подобных неисправностей.

Информационная система по эксплуатации ГУ может заполняться на установку в целом, повторять форму сменного журнала (рапорта) установки. В нее заносится информация о текущем состоянии эксплуатации ГУ, об изменении условий эксплуатации и времени этого изменения, о нарушениях и дефектах, выявленных при эксплуатации и ежесменном техническом осмотре ГУ, принятых мерах по их устранению, невыполненных работах, передаваемых следующей смене, готовности ГУ к эксплуатации.

Информационная система ремонтов заполняется на каждый ГУ и содержит информацию о выявленном дефекте, полученном при дефектовке или путем внешнего осмотра, и времени его появления, об изменении условий эксплуатации ГУ и времени этого

изменения. Также указывается ремонтная бригада, подтверждение и вид отказа, вид ремонта, время устранения отказа, тип отказавшего узла или детали.

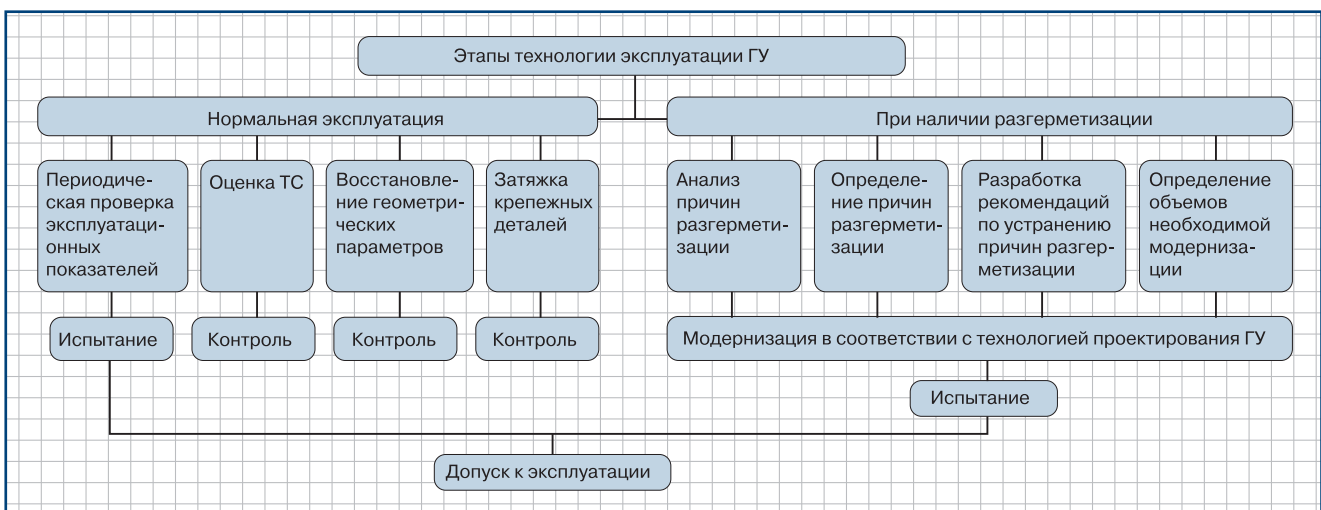
В соответствии с приведенной системой (см. рис. 2) важное место занимает формирование нормативной базы для оценки ТС, которая должна содержать перечень средств контроля, методики по их применению, критерии оценки состояния ГУ, инструкции по действиям обслуживающего персонала в тех или иных ситуациях.

Анализ известных положений об использовании в системах ТО и Р технологического оборудования ВД, принимаемых на предприятиях химической, нефтехимической и других отраслей промышленности, показал отсутствие в них требований по оценке и экспертизе ГУ и их деталей. И это при том, что нормативные документы и технологии, позволяющие учитывать эти требования, уже существуют.

Использование таких технологий в Ангарской нефтехимической компании с участием специалистов АО «ИркутскНИИХиммаш» позволило существенно повысить герметизирующую способность оборудования и уменьшить количество выбросов в окружающую среду. Применение этих технологий на других предприятиях при сложных условиях эксплуатации ГУ позволило улучшить ТС оборудования ВД.

Неиспользование руководителями предприятий нормативных документов и действующих технологий по обеспечению герметичности ГУ в собственных положениях о системе ТО и Р позволяет им сохранять практику исторически сложившихся отношений к герметизации ГУ и оборудования ВД в целом.

Для объективной оценки работоспособности ГУ требуется использование современных методов и средств контроля герметичности, а также определения условий герметизации различных типов ГУ. Виды контроля ГУ во время их эксплуатации представлены на рис. 3.



▲ Рис. 3. Структурная схема контроля ГУ при эксплуатации оборудования

▲ Fig. 3. Block diagram of the control of the sealing units during the operation of the equipment

В процессе эксплуатации требуется систематическое проведение следующих видов контроля ГУ: периодические проверки их эксплуатационных показателей;

оценка ТС контактирующих, герметизирующих, резьбовых поверхностей;

при необходимости — восстановление геометрических параметров всех деталей и затяжки крепежных деталей.

Выполнение этих этапов во время эксплуатации является необходимым условием для поддержания ГУ в рабочем состоянии. Положительные результаты испытаний и контроля геометрических и микрогеометрических параметров ГУ являются по этим этапам достаточным аргументом для принятия решения о допуске их в эксплуатацию.

При наличии разгерметизации ГУ требуются:

анализ и определение причин разгерметизации;

разработка рекомендаций по устранению выявленных причин и выработка технических решений по определению объемов необходимого ремонта и модернизации.

Модернизация ГУ должна проводиться в соответствии с предлагаемой технологией проектирования ГУ с последующим их испытанием.

Заключение

Положительные результаты испытаний модернизированных герметизирующих узлов в оборудовании высокого давления являются достаточным аргументом для допуска его к применению.

Опыт применения структурной схемы контроля (см. рис. 3) при проблемах с эксплуатацией герметизирующих узлов в оборудовании высокого давления представлен в [18–22].

Включение в положения о системе технического обслуживания и ремонта предприятий, эксплуатирующих опасные производственные объекты, требований по обеспечению герметичности герметизирующих узлов позволит:

снизить риски разгерметизации герметизирующих узлов;

увеличить доходность производств за счет снижения выбросов;

сохранять устойчивость бизнеса, использующего оборудование высокого давления.

Список литературы

1. Дубов А.А. Проблемы оценки остаточного ресурса стареющего оборудования// Безопасность труда в промышленности. 2003. № 3. С. 46–49.

2. Опыт обеспечения работоспособности и безопасности оборудования НПЗ/ Актуганов А.Н., Махонькин Б.Н., Колмаков В.П. и др.// Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2010. № 6. С. 36–39.

3. Трутаев С.Ю., Погодин В.К., Кузнецов К.А. Развитие научного, методического и материального обеспечения промышленной и экологической безопасности оборудования

нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств// Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. Спецвыпуск. С. 152–156.

4. Pogodin V.K., Trutaev S.Yu., Kuznetsov K.A. Naukowo-techniczne i metodyczne zapewnienie bezpieczeństwa przemysłowego rafinerii i przemysłu petrochemicznego// Materiały IX Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Praktycznej «Zaawansowany Rozwój Nauki i Technologii». Przemysł (Poland), 2013. Vol. 40. P. 20–21.

5. Практическая диагностика (в 3-х томах)/ под ред. А.М. Кузнецова. Иркутск: ИГТУ, 2009.

6. Положение о системе технического обслуживания и ремонта технологического оборудования предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Ч. 2. Нефтехимические производства: приказ Миннефтехимпрома СССР от 22 апр. 1981 г. № 306. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200101847> (дата обращения: 01.12. 2023).

7. Кадников В.С., Тупицын А.А., Погодин В.К. Повышение эффективности эксплуатации промышленного оборудования// Вестник Иркутского регионального отделения Академии наук высшей школы России. 2005. № 2 (7). С. 85–91.

8. Проблемы перехода на обслуживание промышленного оборудования по техническому состоянию/ Актуганов А.Н., Мухин С.В., Махонькин Б.Н. и др.// Материалы отраслевого совещания главных механиков нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий (Кириши, 2005). М., 2005. С. 221– 227.

9. Шаталов А.А., Разуваев И.В., Костюков В.Н. Опыт реализации стратегии обеспечения безопасности нефтехимических производств при их эксплуатации по фактическому техническому состоянию// Химическая техника. 2003. № 3. С. 11– 13.

10. Положение по техническому обслуживанию, ремонту и контролю технического состояния технологического оборудования установок ОАО «Хабаровский НПЗ». Иркутск: ОАО «ИркутскНИИхиммаш», 2012. 156 с.

11. РД 03-421—01. Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов: постановление Госгортехнадзора России от 06 сент. 2001 г. № 39. URL: <https://www.ntcexpert.ru/documents/rd-03-421-01.pdf> (дата обращения: 01.12. 2023).

12. Сосуды и трубопроводы высокого давления: справ. в 2 т./ под ред. А.М. Кузнецова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2014.

13. American Society of Mechanical Engineer Boiler and Pressure Vessel Codes. Section III, Subsection I. Part A. 2002. URL: <https://ru.scribd.com/doc/153840280/ASME-B31-3-2002-RUS> (дата обращения: 01.12. 2023).

14. ГОСТ Р 52857.4—2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. URL: <https://meganorm.ru/Data/476/47662.pdf> (дата обращения: 01.12. 2023).

15. ПНАЭ Г-7-002—86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. М.: Энергоатомиздат, 1989. 525 с.

16. *Проблемы современной уплотнительной техники// Сборник докладов на Второй международной конференции в Кренфилде. Англия, 1964 г. М.: Мир, 1967. 482 с.*

17. *Резолюция Форума арматуростроителей России «Опыт создания и развития отраслевого производственно-го кластера. Синергетический эффект». Курган, 2018. URL: <https://atr45.ru/upload/iblock/acb/acbf320ec0b8d511bd0ad83afc80696.pdf> (дата обращения: 01.12. 2023).*

18. *Погодин В.К. Практические технологии проектирования герметизирующих узлов оборудования высокого давления. Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. 620 с.*

19. *ГОСТ Р 54803—2011. Сосуды стальные сварные высокого давления. Общие технические требования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103696> (дата обращения: 01.12. 2023).*

20. *ГОСТ Р 55430—2013. Соединения трубопроводов разъемные. Оценка технического состояния и методы испытаний. Безопасность эксплуатации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103371> (дата обращения: 01.12. 2023).*

21. *СТО-00220227-044—2016. Оборудование опасных производственных объектов. Расчетно-экспериментальные методы исследований. Иркутск: «ИркутскНИИХиммаш», 2016.*

22. *Claser H. Eine Methode der naherungsweise Berechnung der Dichtungskennwerte für Metalldichtungen der ND-Technik anhand mechanischer Ersatzmodelle// 4 International Dichtungstag. Dresden, 1970. S. 420—444.*

References

1. Dubov A.A. Problems of assessing the residual life of aging equipment. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2003. № 3. pp. 46—49. (In Russ.).

2. Aktuganov A.N., Makhonkin B.N., Kolmakov V.P., Kuznetsov A.M., Pogodin V.K., Reshetnik N.S. Experience in ensuring the operability and safety of the refinery equipment. *Neftepererabotka i neftekhimiya. Nauchno-tehnicheskie dos-tizheniya i peredovoy opyt = Oil refining and petrochemistry. Scientific and technical achievements and best practices*. 2010. № 6. pp. 36—39. (In Russ.).

3. Trutaev S.Yu., Pogodin V.K., Kuznetsov K.A. Development of the scientific, methodological and material support for industrial and environmental safety of the equipment at the oil refining and petrochemical plants. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie = Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2011. Special issue. pp. 152—156. (In Russ.).

4. Pogodin V.K., Trutaev S.Yu., Kuznetsov K.A. Scientific, technical and methodological support for industrial safety of oil refining and petrochemistry enterprises. *Materiały IX Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Praktycznej «Zaawansowany Rozwój Nauki i Technologii»* (Materials of the 9th International Scientific and Practical Conference «Advanced Developments in Science and Technology»). *Przemysł* (Poland), 2013. Vol. 40. pp. 20—21. (In Pol.).

5. Kuznetsov A.M. Practical diagnostics (in 3 volumes). Irkutsk: IGTU, 2009. (In Russ.).

6. Regulations on the system of maintenance and repair of the technological equipment of oil refining and petrochemical industry enterprises. Part 2. Petrochemical production: Order of

the USSR Ministry of Petrochemical Industry of April 22, 1981 № 306. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200101847> (accessed: December 01, 2023). (In Russ.).

7. Kadnikov V.S., Tupitsyn A.A., Pogodin V.K. Increasing the efficiency of operation of the industrial equipment. *Vestnik Irkutskogo regionalnogo otdeleniya Akademii nauk vysshey shkoly Rossii = Bulletin of the Irkutsk regional branch of the Academy of Sciences of Higher School of Russia*. 2005. № 2 (7). pp. 85—91. (In Russ.).

8. Aktuganov A.N., Mukhin S.V., Makhonkin B.N., Kolmakov V.P., Pogodin V.K., Trutaev S.Yu., Tupitsyn A.A. Problems of transition to maintenance of the industrial equipment based on the technical condition. *Materiały otraslevogo soveshchaniya glavnykh mekhanikov neftepererabatyvayushchikh i neftekhimicheskikh predpriyatiy (Kirishi, 2005)* (Materials of the industry meeting of chief mechanics of oil refining and petrochemical enterprises (Kirishi, 2005). Moscow, 2005. pp. 221—227. (In Russ.).

9. Shatalov A.A., Razuvaev I.V., Kostyukov V.N. Experience in implementing a strategy to ensure the safety of petrochemical plants during their operation based on their actual technical condition. *Khimicheskaya tekhnika = Chemical engineering*. 2003. № 3. pp. 11—13. (In Russ.).

10. Regulations on maintenance, repair and control of the technical condition of process equipment of units of Khabarovsk Refinery JSC. Irkutsk: OAO «IrkutskNIKhimmash», 2012. 156 p. (In Russ.).

11. RD 03-421—01. Methodical guidelines for conducting the diagnostics of the technical condition and determination of the remaining service life of vessels and apparatus: Resolution of Gosgortekhnadzor of Russia of September 06, 2001 № 39. Available at: <https://www.ntcexpert.ru/documents/rd-03-421-01.pdf> (accessed: December 01, 2023). (In Russ.).

12. Kuznetsov A.M. High pressure vessels and pipelines: the reference book in 2 volumes. 3-e izd., pererab. i dop. Moscow: Mashinostroenie, 2014. (In Russ.).

13. American Society of Mechanical Engineer Boiler and Pressure Vessel Codes. Section III, Subsection I. Part A. 2002. Available at: <https://ru.scribd.com/doc/153840280/ASME-B31-3-2002-RUS> (accessed: December 01, 2023).

14. GOST R 52857.4—2007. Vessels and devices. Norms and methods of strength calculations. Calculation of strength and tightness of flange connections. Available at: <https://meganorm.ru/Data/476/47662.pdf> (accessed: December 01, 2023). (In Russ.).

15. PNAE G-7-002—86. Standards for calculating the strength of equipment and pipelines of the nuclear power plants. Moscow: Energoatomizdat, 1989. 525 p. (In Russ.).

16. Problems of modern sealing technology. *Sbornik докладов na Vtoroy mezhdunarodnoy konferentsii v Krenfildе. Angliya, 1964.* (Collection of reports at the Second International Conference in Cranfield. England, 1964). Moscow: Mir, 1967. 482 p. (In Russ.).

17. Resolution of the Forum of Armature Builders of Russia «Experience of Creation and Development of Industry Production Cluster. Synergetic effect». Kurgan, 2018. Available at: <https://atr45.ru/upload/iblock/acb/acbf320ec0b8d511bd0ad83afc80696.pdf> (accessed: December 01, 2023). (In Russ.).

18. Pogodin V.K. Practical technologies for designing sealing units of high-pressure equipment. Moscow, Vologda: Infra-Inzheneriya, 2024. 620 p. (In Russ.).

19. GOST R 54803—2011. High-pressure welded steel vessels. General technical requirements. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200103696> (accessed: December 01, 2023). (In Russ.).

20. GOST R 55430—2013. Detachable pipe joints. Evaluation of technical condition and methods. Operation safety. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200103371> (accessed: December 01, 2023). (In Russ.).

21. STO-00220227-044—2016. Equipment of hazardous production facilities. Computational and experimental research methods. Irkutsk: «IrkutskNIKhimmash», 2016. (In Russ.).

22. Claser H. Eine Methode der näherungsweise Berechnung der Dichtungskennwerte für Metalldichtungen der ND-Technik anhand mechanischer Ersatzmodelle. 4 International Dichtungstag. Dresden, 1970. ss. 420—444. (In Germ.).

E-mail: vkpogodin@yandex.ru

Материал поступил в редакцию/Received 19.06.2023

После рецензирования/Revised 04.12.2023

Принят к публикации/Accepted 06.12.2023

По страницам научно-технических журналов

декабрь 2023 г.

Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение и ликвидация (научный журнал)

Назаров В.П., Власов А.Г., Тангиев М.М. Прогнозирование продолжительности испарения нефтепродуктов в технологических аппаратах. 2023. № 2. С. 12—18.

Предложена методика экспериментально-теоретического исследования процесса испарения ЛВЖ (ГЖ) и оценки уровня его пожарной опасности. Результаты исследований могут быть использованы для прогнозирования продолжительности процесса вентиляции и оценки уровня ее пожаровзрывоопасности при ремонте технологических аппаратов и проведения допуска к огневым работам.

Панасевич Л.Т., Юрьев В.И., Юрьев Я.И. Определение давления насыщенного пара автомобильных бензинов для расчета размеров зон взрывоопасных концентраций. 2023. № 2. С. 19—25.

Определены размеры зон взрывоопасных концентраций, образующихся в открытом пространстве рядом с дыхательной арматурой РВС вместимостью от 1000 м³ до 50000 м³. Представлен анализ данных о давлении насыщенного пара автомобильных бензинов, полученных аналитическим и экспериментальным путем, в результате которого выявлены расхождения в его численном значении на 20 %.

Влияние состава сжиженного природного газа на концентрационные пределы распространения пламени/ И.А. Тетерин, В.А. Сулименко, М.А. Гудков и др. 2023. № 2. С. 26—32.

Проведен анализ изменения значений нижних концентрационных пределов распространения пламени метана, этана, пропана и бутана, представленных в разных литературных источниках. Методом расчета установлены нижние концентрационные пределы распространения пламени модельного состава паров сжиженного природного газа, определена погрешность между расчетом и экспериментом. Полученные результаты позволили дифференцировать подход по определению пожаровзрывоопасности сжиженного природного газа, исходя из марки и жизненных циклов. Предложено учитывать марки и процессы

старения сжиженного природного газа для прогнозирования концентрационных пределов распространения пламени.

Федоров А.В., Рубцов Д.Н., Оспанов К.К. Контроль и поддержание параметров эффективного функционирования паровой завесы трубчатой печи. 2023. № 2. С. 73—80.

Разработаны технические решения, обеспечивающие дистанционный контроль давления пара, а также автоматическую поддержку установленных параметров давления пара для эффективного функционирования паровой завесы трубчатой печи технологической установки гидроочистки дизельного топлива.

Современные проблемы гражданской защиты (Вестник Воронежского института ГПС МЧС России)

Махнева А.Н. Опыт проведения оценки соответствия опасных производственных объектов нефтегазодобывающих производств требованиям промышленной безопасности. 2023. № 2 (47). С. 85—92.

Описан опыт проведения оценки соответствия опасных производственных объектов нефтегазодобывающих производств требованиям промышленной безопасности по методике, разработанной при непосредственном участии автора. Показано, что использование методики оценки соответствия таких объектов требованиям промышленной безопасности (методика) позволяет получить полную и достоверную информацию об уровне промышленной безопасности на объекте. Методика включает в себя: процесс оценки соответствия; критерии оценки деятельности организаций в области промышленной безопасности (критерии оценки); системный показатель соответствия опасных производственных объектов нефтегазодобывающих производств требованиям промышленной безопасности (системный показатель) — обобщенный показатель, в соответствии с которым определяется уровень промышленной безопасности объекта; инструменты визуализации «объектограмму безопасности» и «кривую безопасности».