ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ

Происшедшие в последнее время отказы техники на транспорте, в энергетической, горной, аэрокосмической отраслях промышленности вызвали широкий общественный резонанс.

Причинами данной ситуации явились некомпетентность персонала, изношенность основных фондов и недостаточный уровень инвестиций, направляемых на их модернизацию, несоблюдение требований правил охраны труда, промышленной безопасности, а также нарушение технологической, трудовой дисциплины и ряд других моментов. Очевидно, что в комплексе эти факторы определяют тот ситуационный уровень, который и приводит к катастрофическим отказам потенциально опасных технологических систем.

Минимизировать отказы техники и переломить данную негативную тенденцию возможно только при организации и проведении непосредственно во время эксплуатации технологических систем качественного контроля технического состояния входящих в систему элементов при строгом соблюдении технологических параметров. Другой составляющей процесса является усиление входного контроля, а также более углубленный технический контроль элементов, проводимый специалистами предприятий, экспертными организациями во время остановок систем на ремонт, предписываемый правилами.

Не являясь чем-то новым, обозначенные подходы, тем не менее, могут обеспечить достаточно высокую степень промышленной безопасности в соответствии с требованиями нормативно-технической документации, в том числе и при раздвинутых границах межремонтных интервалов.

Проиллюстрируем это на примере работ по созданию системы технического контроля оборудования, обеспечивающей промышленную безопасность технологических установок первого комплекса закрытого акционерного общества «Рязанская нефтеперерабатывающая компания» (ЗАО «РНПК») при эксплуатации их в условиях увеличенного интервала между капитальными ремонтами. В комплекс были включены 10 технологических установок, объединенных единым технологическим циклом. Это установка прямой перегонки нефти, вакуумный блок установки прямой перегонки нефти, а также установки гидроочистки вакуумного газойля, каталитического крекинга, производства серной кислоты, химводоочистки, производства водорода, сернокислотного алкилирования, гидроочистки дизельного топлива, каталитического риформинга бензина. В составе указанных установок эксплуатируются сотни единиц технологического оборудования, включая сосуды, теплообменные и колонные аппараты, большой резервуарный парк, технологические печи и дымовые трубы, насосно-компрессорное оборудование, сотни километров технологических трубопроводов, тысячи единиц контрольно-измерительной техники и приборов.

Промышленная безопасность такого количества оборудования обеспечивалась и обеспечивается системой планово-предупредительных ремонтов (ППР) при одногодичном или двухгодичном цикле их проведения. Системой ППР предусмотрен контроль технического состояния оборудования во время остановок на капитальный ремонт в соответствии с требованиями Правил промышленной безопасности.

Обеспечение контроля оборудования в межремонтный период, кроме наружного осмотра, требованиями как системы ППР, так и Правил не предусматривается. Однако комплексный зональный сопровождающий контроль состояния оборудования в межремонтный период, когда наиболее возможна и проявляется интенсивная деградация металла, в периодическом режиме или в режиме онлайн значительно сокращает число отказов и повышает надежность оборудования. Тем самым сопровождающий контроль оборудования позволяет оценивать его изношенность и оптимизировать межремонтный цикл, что не противоречит мировой практике эксплуатации технологических установок при увеличенном межремонтном цикле.

Можно приводить много аргументов как за, так и против такого направления действий, но нами этот вектор был выбран как основной для решения поставлен-

ной задачи по обеспечению промышленной безопасности оборудования ЗАО «РНПК» и обоснован подготовленной программой работ. Опорными согласно этой программе, рассчитанной на три года (начало в августе 2010 года), были определены следующие направления.

1. Создание методической основы обеспечения промышленной безопасности оборудования при эксплуатации его в условиях увеличенного интервала между капитальными ремонтами, куда вошли методические указания и инструкции по организации и проведению периодического мониторинга технического состояния емкостного оборудования, трубопроводов, технологических печей, дымовых труб, по процедуре ранжирования технических устройств, по определению зон неразрушающего контроля технических устройств, по оценке результатов периодического мониторинга с целью определения фактического технического состояния, а также указания по объему и порядку создания информационного фонда данных (базы данных), включающего результаты действия разрабатываемой системы контроля.

Из представленного перечня следует выделить два основных документа: инструкцию по процедуре ранжирования технических устройств и инструкцию по определению зон неразрушающего контроля технических устройств.

Первая устанавливает порядок ранжирования технических устройств, требования к процедуре получения и оформления результатов ранжирования с определением ранга и уровня неразрушающего контроля оборудования, необходимого для установления необходимого объема контроля как в интервале между капитальными ремонтами, так и при остановке на капитальный ремонт.

Целью ранжирования является распределение совокупности технических устройств технологических установок согласно представлению об их физическом состоянии, определяющем возможность эксплуатации без значительного ущерба для производства и окружающей среды, без угрозы гибели и травмирования людей.

Ранжирование технических устройств в соответствии с настоящей инструкцией осуществляется на основе экспертной оценки признаков, позволяющих выделить из общей совокупности оборудования технологических установок наиболее «слабые звенья», требующие разработки мероприятий, направленных на обеспечение их промышленной безопасности.

К основным факторам, позволяющим выделить из общей совокупности оборудования «слабые звенья», следует отнести: коррозионное воздействие сред на материал объекта, нагрузочные факторы, продолжительность эксплуатации, изменение условий эксплуатации, выявленные дефекты, а также оценку вероятности разрушения, интенсивность отказов, наработку на отказ, результаты проведенных экспертиз, входной контроль и т.д.

По степени опасности технические устройства могут быть разделены на четыре группы с присвоением им соответствующего ранга в зависимости от технического состояния, связанного с влиянием деградационных процессов на работоспособность и надежность оборудования, и условий, определяющих возможность его эксплуатации.

Рассматривая контроль технического состояния объекта как функцию ранга, разработчики инструкции поставили в зависимость от него уровень и требования к неразрушающему контролю, обеспечивающему промышленную безопасность объекта, в том числе к объему, средствам контроля.

Инструкция по определению зон неразрушающего контроля технических устройств устанавливает процедуру определения зон контроля, где наиболее возможна и реализуется повышенная деградация металла несущих конструктивных элементов оборудования, а также периодичность контроля, его маршрут.

В межремонтный период комплексный контроль технического состояния оборудования независимо от ранга следует выполнять в четко выверенных узловых точках, где наиболее возможна и реализуется повышенная деградация металла несущих элементов оборудования, а не подвергать контролю всю поверхность технического устройства. Узловым точкам в этом случае придается статус зон обязательного персонифицированного зонального диагностирования.

Такими зонами для оборудования могут быть зоны с наибольшим уровнем напряжений: зоны врезок штуцеров, граница раздела фаз, застойные зоны, зоны сварных швов приварки обечаек, днищ, крышек оборудования, трубных элементов, а также зоны с высоким уровнем коррозионного воздействия сред и высокотемпературных градиентов.

Установление зон с наибольшим уровнем напряжений является задачей прочностных исследований. Поэтому в основе определения зон контроля технических устройств лежит прочностная оценка оборудования.

В целях упрощения процедуры расчетов на прочность при определении зон в настоящей инструкции реализуется балльная система, заключающаяся в экспертной количественной оценке всех факторов, снижающих прочностную надежность базисного элемента оборудования.

При балльной оценке, например, емкостного оборудования за базисный элемент принимается гладкая неослабленная оболочка, не имеющая факторов, снижающих ее прочность, и рассчитанная согласно действующим нормам по расчету на прочность.

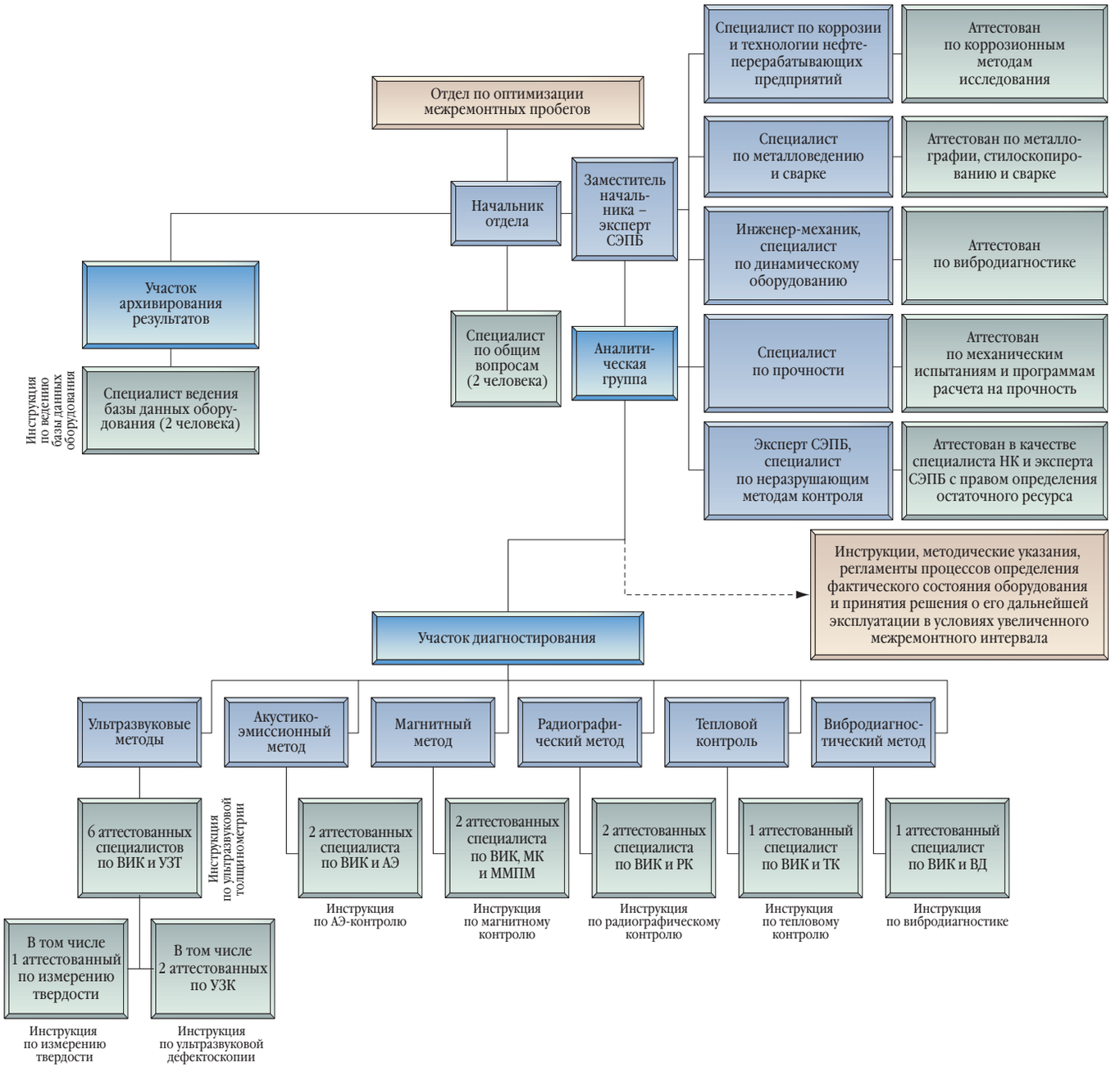
Входящие в анализ факторы, способные изменить в реальной конструкции прочностную оценку принятого базисного элемента, имеют свою количественную оценку, отличную от единицы.

Максимальный результат перемножения коэффициентов, определяющих установленные факторы, характеризует наименее надежную зону технического устройства с наибольшей вероятностью появления в ней дефектов.

В инструкции приведены наиболее часто встречающиеся факторы, ограничивающие или снижающие надежность базисного элемента, и соответствующие им рекомендованные коэффициенты.

2. Другой важной отправной точкой работы явилось проведение технического аудита технологических установок первого комплекса, основанного на анализе технической документации, результатов технического освидетельствования оборудования, а также ранее

1



СТРУКТУРА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

выполненных экспертиз промышленной безопасности. В процессе аудита, на основе доступной информации о техническом состоянии оборудования, были зафиксированы все отказы оборудования и определены по результатам анализа его эксплуатационные возможности.

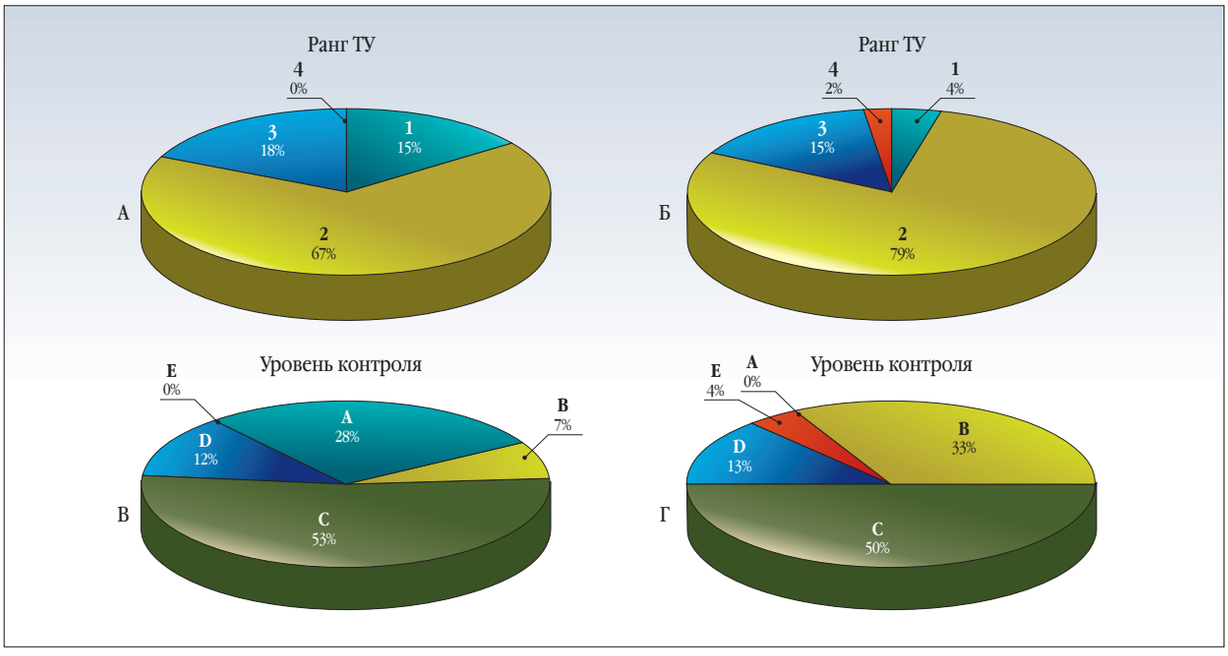
Констатация состояния оборудования позволила сформировать план компенсационных мероприятий, направленных на замену изношенного оборудования и устранение выявленных технологических и иных недостатков функционирования технологических установок.

В качестве иллюстрации можно привести предлагаемые компенсационные мероприятия по результатам аудита установки прямой перегонки нефти (АТ-6). Перечень компенсационных мероприятий включает порядка 40 наименований, среди которых следует указать обязательный ремонт двух колонн и модернизацию одной колонны, а также замену 12 теплообменных аппаратов.

Дополнительным фактором, способствующим большей конкретизации в оценке состояния оборудования, явилось проведенное в конце 2010 года освидетельствование большинства емкостного, теплообменного, другого оборудования и трубопроводов, находящихся в эксплуатационном режиме.

Проведенное силами девяти ведущих профильных научно-исследовательских институтов и экспертных организаций техническое освидетельствование с помощью

2



РАНГ И УРОВЕНЬ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ УСТАНОВКИ ГВГ: А, В – СОСУДЫ И АППАРАТЫ, Б, Г – ТРУБОПРОВОДЫ

современных средств неразрушающего контроля помимо конкретизации позволило одновременно решить задачу, согласованную с Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору, по установлению возможности переноса сроков технического освидетельствования и экспертизы промышленной безопасности оборудования первого комплекса на год. Это позволило оптимально распределить временны́е ресурсы при выполнении разрабатываемой проблемы в целом.

По результатам аудита была определена практическая возможность, за исключением установки производства серной кислоты, эксплуатации оборудования в рамках трехлетнего цикла между капитальными ремонтами при условии создания системы контроля технического состояния оборудования в межремонтный период, а также при условии выполнения компенсационных мероприятий, сформированных на основе установленного уровня износа оборудования, технологических и иных недостатков функционирования установок.

Важным фактором, являющимся определенным гарантом выполнения компенсационных мероприятий, служит их финансирование в полном объеме, которое произошло в 2011 году.

3. Не менее важными моментами, определяющими успешную практическую реализацию всего проекта, являются создание структуры, обеспечивающей функционирование системы контроля технического состояния оборудования технологических установок, и оснащение ее современным диагностическим оборудованием, необходимым для контроля технического состояния.

На рисунке 1 приведена схема наиболее оптимального, на наш взгляд, варианта структуры, которая корреспондируется по большинству подходов с зарубежными аналогами, например с предлагаемым фирмами Ivara, Meridium и рядом других фирм обязательным включением в структуру аналитического подразделения, в обязанности которого входят организация контроля промышленной безопасности, его координация, сбор и электронная архивация получаемой информации, решение наиболее сложных вопросов эксплуатации и ремонта оборудования.

Так как это подразделение является главным звеном структуры, в частности той, которая представлена на рисунке, в нем должны быть представлены высококвалифицированные специалисты: технологи, механики, химики, специалисты по вопросам коррозии, металловедения, прочности, вибродиагностики, по узловым видам неразрушающего контроля.

Для решения практических вопросов при проведении сопровождающей диагностики подразделение должно быть оснащено современными средствами неразрушающего контроля, позволяющими, например, проводить контроль состояния металла при температуре до 450°С по неподготовленной поверхности, а также осуществлять, например, контроль труб технологических печей непосредственно в зонах нагрева.

Наиболее ответственные блоки оборудования, такие как реакторный блок установки каталитического крекинга (реактор, регенератор, шлемовая труба и колонна), – будут оснащены системой непрерывного мониторинга на основе акустико-эмиссионной системы.

4. Одновременно с реализацией вышеперечисленных задач решались вопросы анализа и оценки технологических и эксплуатационных факторов, негативно влияющих на жизненный цикл оборудования, с разработкой рекомендаций по их контролю и минимизации.

В первую очередь к ним следует отнести коррозионное воздействие сред на оборудование технологических

Таблица 1

КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ КОНТРОЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ ПРОВЕДЕНИЯ

Уровень и виды контроля	Межремонтный период	Капитальный ремонт
Уровень С. Виды технической диагностики	Наружный осмотр. Ультразвуковая толщинометрия, применение – зональное, периодическое, без ограничений по температуре неподготовленной поверхности. Тепловой контроль, применение – зональное, периодическое при необходимости. Контроль состояния основного металла, металла сварных швов и околошовной зоны, применение – зональное, периодическое. (Средства контроля – ультразвуковой, вихретоковый контроль, метод магнитной памяти металла, акустико-эмиссионный контроль. Выбор средств контроля определяется доступностью к зонам контроля и возможностью их применения.)	Наружный осмотр. Внутренний осмотр. Испытание на прочность и плотность согласно правилам. Ультразвуковая толщинометрия. Выборочный ультразвуковой контроль. Вихретоковый контроль как альтернативный контроль ультразвукового контроля. Металлографические исследования, безобразцовые. Выборочный контроль твердости металла. Поверочные расчеты на прочность – при необходимости. (Необходимость определяет экспертная организация.)

установок, приводящее к износу конструктивных элементов и преждевременному выходу их из строя. Потери обусловлены значительными объемами производства, а также разнообразием и высокой агрессивностью коррозионных сред, вызывающих многообразие видов коррозионной деградации оборудования. Высокие потери также связаны еще и с тем, что противокоррозионные мероприятия не всегда предусматриваются на стадиях разработки технологических процессов, проектирования оборудования, его изготовления и монтажа, а также модернизации действующих установок и при эксплуатации.

Интенсивность и форма коррозионных процессов оборудования зависят от многих факторов. К ним следует отнести химический и фазовый состав сырьевой нефти, температуру, давление и скорость перемещения потоков сред, их агрегатное состояние, применение различных реагентов, влияющих на кинетику технологических процессов (катализаторов, деэмульгаторов, ингибиторов, нейтрализаторов).

Многофакторный анализ коррозионных процессов применительно к оборудованию установок первого комплекса позволил объединить оборудование в блоки с идентичными признаками коррозионного воздействия. Результаты анализа позволили предложить конкретные мероприятия по стабилизации коррозионных процессов, такие как контроль качества обращаемых технологических сред, включая воду и пар, содержания коррозионно активных компонентов, минимизация их количества в средах и своевременное реагирование на их изменение с помощью введения соответствующих ингибиторов и нейтрализаторов, соблюдение норм технологического регламента. Составлен также перечень материалов, устойчивых к действию высоких температур и коррозионных сред.

Другим моментом, который может негативно сказаться на безопасной эксплуатации технологических установок, является отмеченная при аудите и освидетельствовании разгерметизация фланцевых соединений в процессе эксплуатации.

Очевидность недопущения разгерметизации оборудования не требует доказательств: в условиях переработки и обращения пожароопасных сред разгерметизация может привести и приводит к очень негативным последствиям.

С целью исключения разгерметизации подготовлены рекомендации по расчету фланцевых соединений, в которых изложен порядок расчета необходимого усилия и контроля затяжки фланцевого соединения оборудования, находящегося в эксплуатации.

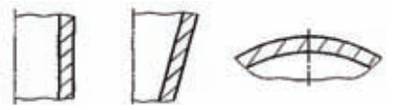
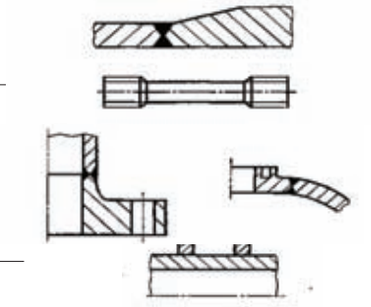
Естественно, контроль затяжки является рутинной работой, но его осуществление является обязательным требованием, позволяющим минимизировать нарушение герметизации фланцевых соединений.

Для автоматизации расчетов отделу оптимизации межремонтных пробегов завода передан пакет прикладных программ PVP Design, включая модули расчета фланцевых соединений по ГОСТ Р 52857.4 и по Code ASME (США).

5. Важным аспектом создания системы является практическое ее исполнение, в том числе ранжирование с определением уровня контроля. На рисунке 2 в качестве примера приведены результаты этой работы, выполненной для одной из наиболее насыщенных оборудованием установки – установки гидроочистки вакуумного газойля (ГВГ). Как видно из диаграмм, наибольший процент оборудования (технических устройств) приходится на второй ранг. Для второго ранга уровень контроля, обозначенный согласно инструкции индексом «С», предусматривает виды контроля, представленные в таблице 1.

Таблица 2

ВЕЛИЧИНА КОЭФФИЦИЕНТОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ГЕОМЕТРИЮ ОБОРУДОВАНИЯ

Узел или элемент сосуда	Расчетный элемент	Эскиз узла	$\varphi_{zформ}$
Гладкая оболочка, сферическая часть выпуклых днищ без отверстий	Оболочка		1
Смещение кромок сварного шва	Оболочка		0,7 + 2δ/s
Соединение оболочек разной толщины	Более тонкая оболочка		1,3
Шпильки (R_m < 540 МПа)	Резьба		
Приварка встык фланца с плавным переходом. Эллиптическое днище	Оболочка и фланец		
Обечайка с кольцами жесткости	Обечайка		

Другой практической составляющей данного проекта, как об этом сказано выше, является определение зон контроля на основе экспертной балльной оценки. Фрагмент наиболее часто встречающихся на практике факторов формы, ограничивающих или снижающих надежность базисного элемента, и соответствующие им рекомендованные коэффициенты приведены в таблице 2.

6. Для работы с полученной информацией и ее архивацией в процессе работы над проектом используется разработанная ЗАО «ГИАП-ДИСТцентр» информационная система на основе электронной базы данных, созданная как поддержка системы контроля технологического оборудования, эксплуатирующегося в условиях увеличенного межремонтного интервала.

Для безопасной эксплуатации оборудования в подобных условиях вопрос хранения и оперативного доступа к информации о технологическом оборудовании становится актуальным, так как определяет возможность оперативной оценки фактического технического состояния оборудования.

База данных позволяет хранить данные о технологическом оборудовании, такие как технические характеристики, условия эксплуатации, данные о ранее проведенных и будущих ремонтах и обследованиях. Для быстрого доступа к необходимой и достоверной информации о технологическом оборудовании в рамках базы данных проведены работы, адаптированные под задачи конкретного производства. В базе данных реализовано автоматическое ранжирование технических устройств, создание электронного паспорта, возможность изменения данных об оборудовании и добавления новых (функция доступна отдельным пользователям).

Резюме. В настоящем информационном сообщении представлена канва практической реализации вопросов промышленной безопасности оборудования при эксплуатации крупного нефтеперерабатывающего комплекса, каким является закрытое акционерное общество «Рязанская нефтеперерабатывающая компания», в условиях увеличенных интервалов между капитальными ремонтами на основе идеологии сопровождающей диагностики, что позволяет оптимизировать процесс эксплуатации оборудования.

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР ЗАО «ГИАП-ДИСТЦЕНТР»
Б.П. Сергиев

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН, ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ РАН
Н.А. Махутов

ВИЦЕ-ПРЕЗИДЕНТ ПО ПРОИЗВОДСТВУ
И НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ ОАО «ТНК-ВР МЕНЕДЖМЕНТ»
Л.С. Розенберг