

DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-1-126-136
УДК 665.6-049.5

З.А. Закирова, Я.А. Палладина (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

СНИЖЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ РАЗВИТИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ, СВЯЗАННЫХ С КОРРОЗИОННЫМ ИЗНОСОМ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Zemfira A. Zakirova, Yana A. Palladina (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

DECREASING THE PROBABILITY OF EMERGENCY SITUATIONS ARISING FROM CORROSION WEARING OIL AND GAS EQUIPMENT

Введение

Повышение безопасности технологических процессов на объектах нефтегазовой отрасли продолжает оставаться актуальной проблемой, поскольку использование агрессивных сред, эксплуатация оборудования в условиях большого давления, высоких или криогенных температур может привести к крупным авариям и человеческим жертвам.

Степень опасности коррозии определяется скоростью ее развития, по причине этого разрушающего процесса ежегодно теряется до 10 % металла. Согласно статистике производственных аварий в нефтегазовом комплексе за 2010-2018 гг., коррозионная активность является одной из основных причин повреждений оборудования, вызывая нарушения функционирования технологического процесса, сопровождающиеся истечением технологической среды вследствие разгерметизации и пожаром пролива при наличии источника зажигания.

Цели и задачи

На основании анализа применяемых в нефтегазовой отрасли методов борьбы с коррозией предложить наиболее эффективные.

Background

Improving the technological processes safety at oil and gas industry facilities continues to be an urgent problem, since corrosive media use, operation of equipment under high pressure, high or cryogenic temperatures can lead to major accidents and loss of life.

The corrosion danger degree is determined by its development rate; because of this destructive process, up to 10 % of the metal is annually lost. According to statistics of industrial accidents in the oil and gas complex for 2010-2018, corrosivity is one of the main causes of equipment damage, causing disruptions in the process operation, accompanied by the expiration of the process environment due to depressurization and spillage fire in an ignition source presence.

Aims and Objectives

Based on the analysis of corrosion control methods used in the oil and gas industry, to propose the most effective.

Результаты

На основании проведенного анализа предложено для защиты от коррозии технологического оборудования одновременно с использованием общепринятых методов применения датчиков скорости коррозии. Эффективность датчиков скорости коррозии обоснована тем, что это - приборы неразрушающего контроля, их функционирование не требует остановки рабочего процесса и вывода оборудования из эксплуатации.

Results

Based on the analysis performed, the use of corrosion rate sensors was proposed for corrosion protection of process equipment at the same time using conventional methods. The effectiveness of corrosion rate sensors is justified by the fact that these are non-destructive testing devices, their operation does not require stopping of the working process and equipment de-commissioning.

Ключевые слова: промышленная безопасность, нефтегазовая отрасль, коррозионный износ, агрессивная среда, авария, ингибиторы коррозии, датчик скорости коррозии

Key words: industrial safety, oil and gas industry, corrosive wear, aggressive environment, accident, corrosion inhibitors, corrosion rate sensor

На сегодняшний день объекты нефтегазовой отрасли требуют все более пристального внимания с точки зрения снижения аварийности, связанной с коррозионным износом оборудования.

Технологическое оборудование на объектах нефтегазовой отрасли является потенциально опасным, поскольку эксплуатируется в условиях высоких и криогенных температур, больших давлений, а нефтепродукты, обращающиеся на установках, относятся к категории взрывопожароопасных веществ [1, 2].

На рисунке 1 представлены основные причины аварийности в технологических процессах нефтегазовой отрасли. Коррозионный износ занимает лидирующие позиции в рейтинге основных причин аварийности технологических процессов нефтегазовой отрасли.

Существует высокая вероятность возникновения утечки нефтепродукта, которая может произойти по причине образовавшихся коррозионных отверстий, неплотностей фланцевых соединений. Развитие такой аварии усложняется тем, что установка может

эксплуатироваться с помощью электрического напряжения.

При сбоях технологического режима есть вероятность возникновения короткого замыкания или других опасностей, связанных с применением электричества, которое в совокупности с возможностью образования взрывоопасных смесей способно привести к взрыву, что, в свою очередь, может привести к значительным разрушениям и человеческим жертвам.

С целью уменьшения вероятности развития коррозионных износов оборудования необходимо учитывать состав используемого сырья, вид металла, температуру, давление технологического процесса.

Не все существующие методы борьбы с коррозией дают гарантию, что данный разрушающий процесс будет предотвращен.

На предприятиях применяют ингибиторы и поверхностную обработку металлов [3, 4].

Существуют ингибиторы коррозии, основанные на замедлении химических реакций

с помощью кислородной деполяризации и образования накипи, на основе комплексов нитрилотрисметилефосфоновой кислоты с цинком, которые предназначаются, в частности, для защиты стальных частей технологического оборудования в нефтегазовой и хи-

мической отраслях, системах водоснабжения. Недостатком данного способа является то, что он применяется для защиты стальных частей, тогда как в нефтегазовой отрасли установки изготавливаются из различных металлов, для которых этот способ не подходит.



Рисунок 1. Основные причины аварийности в технологических процессах нефтегазовой отрасли

Еще одним средством, замедляющим коррозионный износ, являются покрытия участков оборудования, соприкасающихся с нефтью и нефтепродуктами. Соединение получают нанесением смеси, содержащей полиэтилен (70-80 %), золу (15-10 %), цеолит (15-10 %).

Недостаток смеси заключается в том, что температура плавления полиэтилена составляет около 14 °С, а температурные режимы технологических процессов более высокие. По этой причине данная смесь может применяться только для установок, в которых рабочая температура относительно невысокая.

С целью эмульгирования в системах добычи нефти, замедления коррозии поверхности металла также применяется ингибитор коррозии на основе соединения окисленной и малеинированной жирной или смоляной кислот. Композиция содержит соединения жирной, смоляной кислот или смесь таких соединений, имеющих сшивки между углеводородными цепями в виде простой эфирной связи и один или несколько фрагментов производных карбоновых кислот. Данный способ более применим в нефтедобывающей промышленности при добыче и очистке ископаемых, нежели в технологических процессах в качестве ингибитора [5-7].

На многих предприятиях практикуются защитные противокоррозионные покрытия, цель которых заключается в изоляции металла от воздействия агрессивной среды. Они подразделяются на металлические и неметаллические.

Первый вид защиты включает в себя:

- металлизация напылением - поверхность материала технологического оборудования обрабатывается с помощью распыления расплавленного металла воздушной струей;
- погружение образца в емкость с расплавленным металлом;
- плакирование - нанесение на поверхность основного металла другого металла, который более устойчив к воздействию агрессивной среды;
- гальванический (электролитический) способ - осаждение металла из водных растворов их солей на поверхность изделия, пропуская через электролит электрический ток;
- диффузионный - суть этого вида защиты состоит в проникновении металлопокрытия в поверхностный слой основного металла под воздействием высоких температурных условий.

По способу защиты металлические защитные покрытия подразделяют на анодные и катодные. Положительным моментом при защите от коррозии с помощью анодных покрытий является то, что металлопокрытие является защитным даже при наличии на нем пор и царапин. Примером такого покрытия является цинковое покрытие на железных изделиях.

Катодный тип защиты осуществляется реже, так как катодное покрытие предохраняет изделие лишь механически. Основным металлом изделия является анодом, и при подводе к нему влаги начинается интенсивное его растворение. Именно поэтому катодное покрытие должно быть сплошным, без малейших признаков повреждений, равномерное, относительно большой толщины. Примером катодного покрытия служит оловянный или медный сплошной слой на железе [8, 9].

Неметаллический способ покрытия для борьбы с самопроизвольным разрушением

металла применяется для изоляции, а также для защиты от воздействия внешней среды. Данный способ включает в себя лакокрасочные, полимерные покрытия, а также обработки смазками, резинами, пастами, силикатными эмалями. Лакокрасочные защитные покрытия распространены и наиболее часто применимы. В их состав входят пленкообразующие вещества, катализаторы, растворители, пигменты, наполнители. Защитные покрытия из смазок и паст часто используют при длительном хранении и перевозке металлоизделий. Пасты наносятся на защищаемую поверхность с помощью распыления или кисти, и в процессе высыхания образовавшаяся защитная пленка ограждает изделия от воздействия влаги, пыли и других газообразных веществ. Данные смазки изготавливаются на основе минерального масла с применением воскообразных веществ. Такие защитные покрытия наиболее часто встречаются по причине их экономической доступности. Но их главным недостатком является то, что целостную структуру образовавшейся пленки беспрепятственно можно нарушить.

Способ борьбы с коррозией с помощью покрытия резинами или эбонитом осуществляется для защиты различных емкостей, технологического оборудования, трубопроводов [10-12]. Резиновые покрытия являются хорошими диэлектриками, разрушаются лишь под действием сильных окислителей. Но основным недостатком такого способа является их недолговечность, так как все полимерные материалы обладают отрицательным свойством - старением, приводящим к изменению их физико-химических свойств.

Таким образом, несмотря на большое разнообразие применяемых в нефтегазовой отрасли способов защиты от коррозии проблема аварийности, связанная с корродированием металлов, остается актуальной и требует нового подхода к решению данной задачи [13, 14].

Предлагается для защиты от коррозии технологического оборудования одновременно с использованием общепринятых методов применение датчиков скорости коррозии.

Использование датчиков скорости коррозии - это своего рода диагностика и прогно-

зирование коррозионной активности металлов оборудования, на котором они установлены.

Положительная сторона использования такого вида диагностики в том, что это - неразрушающий контроль, не требуется остановки рабочего процесса, вывода из эксплуатации установки или резервуара.

Существуют разные производители датчиков для измерения скорости коррозии. Предназначение у всех приборов схожее, различие состоит в рабочих диапазонах и средах, в которых применяются данные приборы.

Так, ультразвуковой сенсор ССК используется в системе диагностического контроля для обслуживания локальных участков конструкций, для которых характерен высокий уровень износа и появление усталостных трещин. Этот датчик может применяться в грунтах любой агрессивности и влажности, в жидких и газообразных средах, в диапазоне рабочих температур: от минус 40 °С до 45 °С. Принцип работы такого прибора основан на отражении ультразвуковых волн от поверхности, которая исследуется, а также на изменении амплитуды сдвига. Данным датчиком фиксируется даже незначительное изменение толщины металла, что позволяет своевременно предпринять меры для предотвращения дальнейшего разрушения [15, 16]. Ультразвуковой сенсор приведен на рисунке 2.

Известен датчик для отслеживания коррозии в реальном времени Pepperl+Fuchs CorrTran MV. Контроль над рабочим процессом с помощью данного датчика позволяет вносить изменения в технологический процесс, потому как наблюдение производится в реальном времени.

Прибором обнаруживаются не только разрушения, которые образовались неопределенное время назад, но и малейшие деформации, происходящие в настоящий момент. Сторона анода образуется, когда металл с корродирующей поверхности попадает в прилегающий к ней раствор (жидкость, вызывающую коррозию) в виде ионов.

В результате процесса на поверхности металла образуется избыток электронов. Электроны перетекают в близко расположенную точку катода, приводящую к возникновению тока коррозии, затем электроды поглощаются окисляющим агентом коррозионного раствора. Анодные и катодные точки непрерывно создаются и меняют положение на проводящей поверхности металла. Далее в коррозионный раствор помещается электрический датчик, содержащий три измерительных электрода из того же металла. Используя датчик, можно создавать между электродами малые потенциалы и измерять полученные токи. На эти токи оказывает влияние тот же коррозионный процесс, который отвечает за ток коррозии. Если электроды корродируют с высокой скоростью, ионы металла легко переходят в раствор, и малый потенциал, приложенный к электродам, создает большой ток, пропорциональный току коррозии.

Используя сложную последовательность анализа данных, датчик интерпретирует информацию о коррозии и передает ее в виде сигнала 4-20 мА. Чтобы получить точное измерение, электроды должны быть сделаны из того же материала, что и исследуемая поверхность, в которой осуществляется измерение [15, 17, 18].

Для более точных исследований различных поверхностей электроды могут быть изготовлены из различных материалов: углеродистая сталь 1018, нержавеющая сталь 304, нержавеющая сталь 316, алюминий 1100, алюминий 2024, титан GR2. Датчик отслеживания коррозии в реальном времени приведен на рисунке 3.

Датчик скорости коррозии ДСК-1 состоит из 3 индикаторов, выполненных из стальной проволоки, и контактной рамки, соединенных между собой кабелем из 4 жил (рисунок 4).

Прибор устанавливается на поверхности технологического оборудования (рисунок 5). Провода датчика подсоединяются к щитку контрольно-испытательного пункта, обеспечивая электрический контакт между каждым индикатором и контактной рамкой.

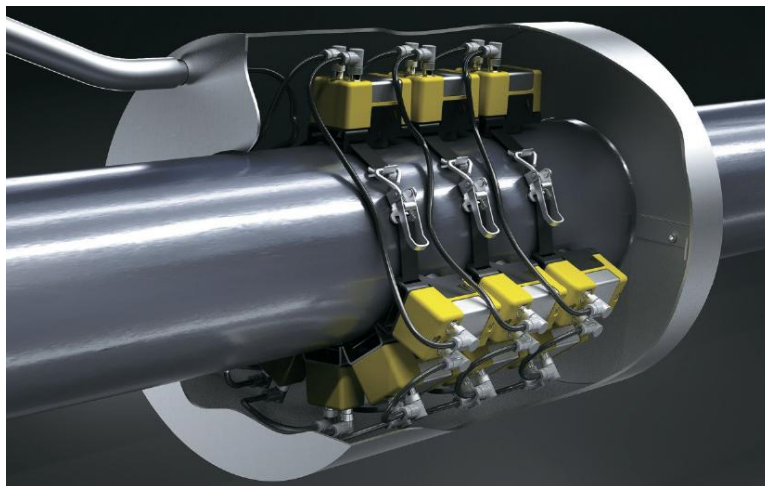
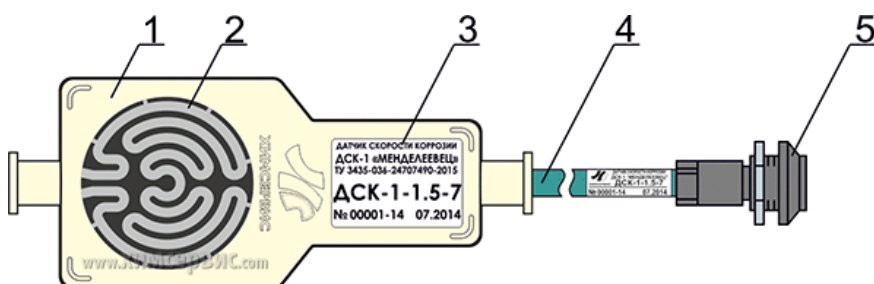


Рисунок 2. Ультразвуковой сенсор



Рисунок 3. Датчик отслеживания коррозии в реальном времени



1 - корпус; 2 - активный элемент; 3 - товарная этикетка; 4 - кабель; 5 - разъем

Рисунок 4. Схематичное изображение датчика ДСК-1

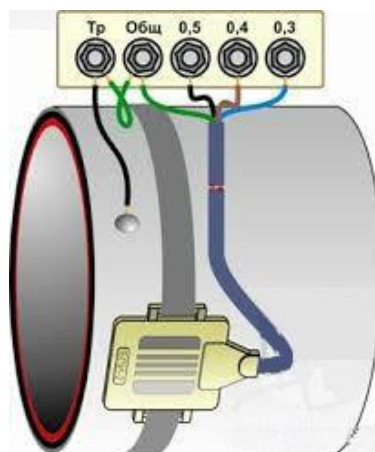


Рисунок 5. Установленный на оборудовании датчик ДСК-1

Степень подверженности коррозии определяется временем, за которое произойдет полное разрушение чувствительных элементов датчика (от момента его установки до потери электропроводимости единичных индикаторов). Плюсами датчиков ДСК является их малогабаритность, легкость в установке, а также большой диапазон рабочей температуры: от минус 50 °С до 50 °С в зависимости от модели прибора.

Датчик устанавливает момент начала разрушения элемента и осуществляет периодический мониторинг его состояния. При наличии замкнутой электрической цепи срабатывает световой индикатор, а в случае ее отсутствия - индикатор не загорится. Скорость коррозии определяется по формулам, указанным в прилагающейся методике измерений. Измерительная схема и энергонезависимая память встроены непосредственно в датчик, обеспечивая точность и стабильность измерений.

В зависимости от конструктивного исполнения различают две разновидности датчиков:

ДСК-1-1.5 - применяются в зонах с высокой коррозионной опасностью, скорость коррозионного разрушения более 0,3 мм/год;

ДСК-1-0.7 - применяются в зонах с повышенной коррозионной активностью, скорость которой составляет от 0,1 до

0,3 мм/год, а также в зонах с умеренной коррозионной активностью, скорость которой менее 0,1 мм/год.

Достоинство такого прибора состоит в том, что цифровой интерфейс связи позволяет подключить датчик к ноутбукам, планшетам, системам телеметрии. Основные параметры датчиков скорости коррозии ДСК-1 приведены в таблице 1 [15].

Для измерения общей и локальной коррозии и электрохимических исследований применяются многоэлектродные датчики коррозии (СМАС). При работе датчиков по технологии СМАС не требуется на поверхности измеряемых электродов наличия электролита, по этой причине они находят применение при количественном измерении локальной коррозии металлов и не только в водных растворах, но и во влажных газах, водоземлемой среде, под солевыми отложениями, биоотложениями, в почве, в бетоне и под покрытиями. Датчики коррозии СМАС используются для мониторинга в реальном времени в системе катодной защиты. Также с помощью датчиков СМАС можно измерять наружную и щелевую коррозию, при этом рассчитывается как мгновенная, так и общая скорость коррозии [15, 19].

В таблице 2 приведены типы электродов для многоэлектродных датчиков коррозии СМАС.

Таблица 1. Сравнение параметров датчиков скорости коррозии ДСК

Наименование параметров	ДСК-1-0.7	ДСК-1-1.5
Полезный ресурс, не менее, мм	0,5	1,1
Рабочий диапазон напряжение питания, В	4,25-5,25	4,25-5,25
Ток потребления, не более, мА	270	270
Диапазон рабочих температур, °С	от минус 20 до 45	от минус 20 до 45
Срок службы датчиков в условиях эффективной электрохимической защиты, не менее, лет	5	5

Таблица 2. Виды электродов для датчиков CMAS [15]

Flush электроды	Открытые электроды	Электроды, применяемые при высокой температуре и высоком давлении
<p>Предназначены для измерения в системах коррозионного мониторинга и электрохимических исследований:</p> <ul style="list-style-type: none"> - точечной коррозии; - щелевой коррозии; - общей коррозии; - оценки ингибиторов; - эффективности катодной/анодной защиты. 	<p>Предназначены для измерения, при низких скоростях коррозии, в системах коррозионного мониторинга и электрохимических исследований:</p> <ul style="list-style-type: none"> - общей коррозии; - эффективности катодной / анодной защиты; - оценки покрытий. 	<p>Предназначены для измерения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - точечной коррозии; - щелевой коррозии; - общей коррозии.
<p>Применяются в средах:</p> <ul style="list-style-type: none"> - водные растворы; - влажные газы; - почва; - масловодные смеси. 	<p>Применяется в средах:</p> <ul style="list-style-type: none"> - водные растворы; - почва; - водоземulsionные смеси; - под покрытиями. <p>Открытые электроды увеличивают зондирование сигнала для крайне низкой скорости коррозии. При оценке покрытий нанесение на электрод используется для коррозионного мониторинга в земле.</p>	<p>Объекты применения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - системы горячего водоснабжения; - парогенераторы; - реакторы с высокой температурой и / или высоким давлением; - трубопроводы высокого давления; - печи; - паровые котлы; - стеки дымовых газов.

Выводы

На основании проведенного анализа предложено для защиты от коррозии технологического оборудования одновременно с использованием общепринятых методов применение датчиков скорости коррозии.

Эффективность датчиков скорости коррозии обоснована тем, что это приборы неразрушающего контроля, их функционирование не требует остановки рабочего процесса и вывода оборудования из эксплуатации.

Список литературы

1. Абдрахманов Н.Х., Матвеев В.П., Нишчета А.С., Савицкий В.В., Доржиева О.А., Хакимов Т.А. Анализ отечественного и зарубежного опыта исследований в области безопасного проектирования и эксплуатации технологических объектов нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов: сб. тр. 2015. С. 162-164.
2. Abdrakhmanov N., Abdrakhmanova K., Vorokhobko V., Abdrakhmanova L., Basyrova A. Development of Implementation Chart for Non-Stationary Risks Minimization Management Technology Based on Information-Management Safety System // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. № 12. С. 7880-7888.
3. Виноградова С.С., Кайдриков Р.А., Макарова А.Н., Журавлев Б.Л. Физические методы в исследованиях осаждения и коррозии металлов. Киев: КНИТУ, 2013. С. 142-144.
4. Абдрахманов Н.Х., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В., Шайбаков Р.А. Анализ системных рисков при проектировании и эксплуатации опасных производственных объектов // Промышленная безопасность на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах: матер. VIII науч.-практ. конф. 23-24 апреля 2014 г. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2014. С. 28-31.
5. Кайдриков Р.А., Журавлев Б.Л., Виноградова С.С., Назмиева Л.Р., Исакова И.О. Электрохимические методы исследования локальной коррозии пассивирующихся сплавов и многослойных систем. Киев: КНИТУ, 2014. С. 144-150.
6. Кускильдин Р.А., Абдрахманов Н.Х., Закирова З.А., Ялалова Э.Ф., Абдрахманова К.Н., Ворохобко В.В. Современные технологии для проведения производственного контроля, повышающие уровень промышленной безопасности на объектах нефтегазовой отрасли // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Вып. 2 (108). С. 111-120.
7. Kunelbayev M.M., Gaisin E.Sh., Repin V.V., Galiullin M.M., Abdrakhmanova K.N. Heat Absorption by Heat-Transfer Agent in a Flat Plate Solar Collector // International Journal of Pure and Applied Mathematics. 2017. Т. 115. № 3. С. 561-575.
8. Грачев В.А., Розен А.Е., Козлов Г.В., Розен А.А. Способ защиты металлов и сплавов от питтинговой коррозии многослойными металлическими покрытиями // Коррозия: материалы, защита. 2017. № 2. С. 12-17.
9. Gaisina L.M., Belonozhko M.L., Tkacheva N.A., Abdrakhmanov N.Kh., Grogulenko N.V. Principles and Methods of Synergy

References

1. Abdrakhmanov N.Kh., Matveev V.P., Nishcheta A.S., Savitskii V.V., Dorzhieva O.A., Khakimov T.A. Analiz otechestvennogo i zarubeznogo opyta issledovaniy v oblasti bezopasnogo proektirovaniya i ekspluatatsii tekhnologicheskikh ob'ektov neftepererabatyvayushchikh i neftekhimicheskikh proizvodstv [Analysis of Domestic and Foreign Experience of Research in the Field of Safe Design and Operation of Technological Facilities of Oil Refining and Petrochemical Industries]. *Ekspertiza promyshlennoi bezopasnosti i diagnostika opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov - Expertise of Industrial Safety and Diagnostics of Hazardous Production Facilities*, 2015, No. 5, pp. 162-164. [in Russian].
2. Abdrakhmanov N., Abdrakhmanova K., Vorokhobko V., Abdrakhmanova L., Basyrova A. Development of Implementation Chart for Non-Stationary Risks Minimization Management Technology based on Information-Management Safety System. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, No. 12, pp. 7880-7888.
3. Vinogradova S.S., Kaidrikov R.A., Makarova A.N., Zhuravlev B.L. *Fizicheskie metody v issledovaniyakh osazhdeniya i korrozii metallov* [Physical Methods in Metal Deposition and Corrosion Studies]. Kazan, KNITU Publ., 2013, pp. 142-144. [in Russian].
4. Abdrakhmanov N.Kh., Abdrakhmanova K.N., Vorokhobko V.V., Shaibakov R.A. Analiz sistemnykh riskov pri proektirovanii i ekspluatatsii opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov [Analysis of Systemic Risks in the Design and Operation of Hazardous Production Facilities]. *Materialy VIII nauchno-prakticheskoi konferentsii «Promyshlennaya bezopasnost' na vzryvopozharoопасnykh i khimicheskikh opasnykh proizvodstvennykh ob'ektakh»* [Proceedings of the VIII Scientific-Practical Conference «Industrial Safety at Explosive and Chemically Hazardous Production Facilities»], Ufa, UGNTU Publ., 2014, pp. 28-31. [in Russian].
5. Kaidrikov R.A., Zhuravlev B.L., Vinogradova S.S., Nazmиеva L.R., Iskhakova I.O. *Elektrokhimicheskie metody issledovaniya lokal'noi korrozii passiviruyushchikhsya spлавov i mnogosloinykh sistem* [Electrochemical Methods for the Investigation of Local Corrosion of Passivating Alloys and Multilayer Systems]. Kazan, KNITU Publ., 2014, pp. 146-150. [in Russian].
6. Kuski'din R.A., Abdrakhmanov N.Kh., Zakirova Z.A., Yalalova E.F., Abdrakhmanova K.N., Vorokhobko V.V. Sovremennye tekhnologii dlya provedeniya proizvodstvennogo kontrolya, povyshayushchie uroven' promyshlennoi

Modeling of Management System at Oil and Gas Sector's Enterprises // *Espacios*. 2017. Т. 38. № 33. С. 5.

10. Павлова З.Х., Азметов Х.А., Абдрахманов Н.Х., Павлова А.Д. Оценка и обеспечение безопасности эксплуатации нефтегазопроводов в условиях нестационарности технологических параметров // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2018. Т. 329. № 1. С. 132-139.

11. Fedosov F.V., Abdrakhmanov N.Kh., Khamitova A.N., Abdrakhmanova K.N. Assessment of the Human Factor Influence on the Accident Initiation in the Oil and Gas Industry // *Территория НЕФТЕГАЗ*. 2018. № 1-2. С. 62-70.

12. Закирова З.А., Шаяхметова А.И. Повышение уровня безопасности на опасных производственных объектах, эксплуатируемых оборудованием, работающем под избыточным давлением // *Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело»*. 2016. № 2. С. 240-253.

13. Абдрахманов Н.Х., Закирова З.А., Люмьер В.В., Абдрахманова К.Н., Кускильдина А.Р. Решение проблем нефтегазовой отрасли: повышение промышленной безопасности и охраны труда при проведении работ повышенной опасности за счет совершенствования образовательных технологий // *Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов*. 2016. Вып. 4 (106). С. 193-200.

14. Sekerin V.D., Gaisina L.M., Shutov N.V., Abdrakhmanov N.Kh., Valitova N.E. Improving the Quality of Competence-Oriented Training of Personnel at Industrial Enterprises // *Quality - Access to Success*. 2018. Т. 19. № 165. С. 68-73.

15. Монахов А.Н., Кузнецов А.К., Монахова М.А. Опыт применения датчиков коррозии в системах коррозионного мониторинга // *Экспозиция Нефть Газ*. 2015. № 2 (41). С. 46-49.

16. Gaisina L.M., Maier V.V., Abdrakhmanov N.Kh., Sultanova E.A., Belonozhko M.L. Deliberate Reorganization of the System of Social Relations in Oil and Gas Companies in the Period of Changes in Economics // *Espacios*. 2017. Т. 38. No. 48. С. 12.

17. Каковкин Д.А., Харебов В.Г., Мисейко А.Н. Задачи и проблемы коррозионного мониторинга оборудования химических предприятий // *Химическая техника*. 2017. № 5. С. 28-31.

18. Fedosov A.V., Abdrakhmanov N. Kh., Gaysin E. Gh., Sharafutdinova G.M., Abdrakhmanova K. N., Shammatoeva A.A. The Use of Mathematical Models in the Assessment of The Measurements' Uncertainty for the Purpose of the Industrial Safety Condition Analysis of the Dangerous Production Objects // *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. 2018. Vol. 10. P. 433-437.

19. Abdrakhmanov N.Kh., Vadulina N.V., Fedosov A.V., Ryamova S.M., Gaisin E.Sh. A New Approach for a Special Assessment of the Working Conditions at the Production Factors' Impact through Forecasting the Occupational Risks // *Man in India*. 2017. Vol. 97. No. 20. P. 495-511.

безопасности на об'ектах нефтегазовой отрасли [Modern Technologies for Operation Control Monitoring Increasing Industrial Safety Level on Oil and Gas Industry Objects]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, No. 2 (108), pp. 111-120. [in Russian].

7. Kunelbayev M.M., Gaisin E.Sh., Repin V.V., Galiullin M.M., Abdrakhmanova K.N. Heat Absorption by Heat-Transfer Agent in a Flat Plate Solar Collector. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 2017, Vol. 115, No. 3, pp. 561-575.

8. Grachev V.A., Rozen A.E., Kozlov G.V., Rozen A.A. Sposob zashchity metallov i splavov ot pittingovoi korrozii mnogostoinymi metallichesкими pokryiyami [Protection Method of Metals and Alloys Against Pitting Corrosion by Multilevel Metal Coatings]. *Korroziya: materialy, zashchita - Corrosion: Materials, Protection*, 2017, No. 2, pp. 12-17. [in Russian].

9. Gaisina L.M., Belonozhko M.L., Tkacheva N.A., Abdrakhmanov N.Kh., Grogulenko N.V. Principles and Methods of Synergy Modeling of Management System at Oil and Gas Sector's Enterprises. *Espacios*, 2017, Vol. 38, No. 33, p. 5.

10. Pavlova Z.Kh., Azmetov Kh.A., Abdrakhmanov N.Kh., Pavlova A.D. Otsenka i obespechenie bezopasnosti ekspluatatsii neftegazoprovodov v usloviyakh nestatsionarnosti tekhnologicheskikh parametrov [Assessment and Safety of Operation of Oil and Gas Pipelines in Nonsteady Conditions of Technological Parameters]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov - Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2018, Vol. 329, No. 1, pp. 132-137. [in Russian].

11. Fedosov F.V., Abdrakhmanov N.Kh., Khamitova A.N., Abdrakhmanova K.N. Assessment of the Human Factor Influence on the Accident Initiation in the Oil and Gas Industry. *Territoriya NEFTEGAZ - NEFTEGAZ Territory*, 2018, No. 1-2, pp. 62-70.

12. Zakirova Z.A., Shayakhmetova A.I. Povyshenie urovnya bezopasnosti na opasnykh proizvodstvennykh ob'ektakh, ekspluatiruyushchikh oborudovanie, rabotayushchee pod izbytochnym davleniem [The Improvement of Safety Level at Hazardous Production Facilities, Operating Equipment, Working Under Overpressure]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» - Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business*, 2016, No. 2, pp. 240-253. [in Russian].

13. Abdrakhmanov N.Kh., Zakirova Z.A., Lyumer V.V., Abdrakhmanova K.N., Kuskildina A.R. Reshenie problem neftegazovoi otrasli: povyshenie promyshlennoi bezopasnosti i okhrany truda pri provedenii rabot povyshennoi opasnosti za schet sovershenstvovaniya obrazovatel'nykh tekhnologii [Addressing the Oil and Gas Industry Problems: Improving Industrial Safety and Occupational Health and Safety in Performing High Risk Activities through Improved Educational Technologies]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transporta-*

tion of Oil and Oil Products, 2016, Issue 4 (106), pp. 193-200. [in Russian].

14. Sekerin V.D., Gaisina L.M., Shutov N.V., Abdrakhmanov N.Kh., Valitova N.E. Improving the Quality of Competence-Oriented Training of Personnel at Industrial Enterprises. *Quality - Access to Success*, 2018, Vol. 19, No. 165, pp. 68-73.

15. Monakhov A.N., Kuznetsov A.K., Monakhova M.A. Opyt primeneniya datchikov korrozii v sistemakh korroziionnogo monitoring [Experience of Using Corrosion Sensors in Corrosion Monitoring Systems]. *Zhurnal Ekspozitsiya Neft' Gaz - Exposition Oil & Gas Journal*, 2015, No. 2 (41), pp. 46-49. [in Russian].

16. Gaisina L.M., Maier V.V., Abdrakhmanov N.K., Sultanova E.A., Belonozhko M.L. Deliberate Reorganization of the System of Social Relations in Oil and Gas Companies in the period of Changes in Economics. *Espacios*, 2017, Vol. 38, No. 48, 12 p.

17. Kakovkin D.A., Kharebov V.G., Miseiko A.N. Zadachi i problemy korroziionnogo monitoringa oborudovaniya khimicheskikh predpriyatii [Tasks and Problems of Corrosion Monitoring of Equipment of Chemical Enterprises]. *Khimicheskaya tekhnika - Chemical Engineering*, 2017, No. 5, pp. 28-31. [in Russian].

18. Fedosov A.V., Abdrakhmanov N.Kh., Gaysin E.Gh., Sharafutdinova G.M., Abdrakhmanova K.N., Shammatova A.A. The Use of Mathematical Models in the Assessment of the Measurements' Uncertainty for the Purpose of the Industrial Safety Condition Analysis of the Dangerous Production Objects. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 2018, Vol. 10, pp. 433-437.

19. Abdrakhmanov N.Kh., Vadulina N.V., Fedosov A.V., Ryamova S.M., Gaisin E.Sh. A New Approach for a Special Assessment of the Working Conditions at the Production Factors' Impact through Forecasting the Occupational Risks. *Man in India*, 2017, Vol. 97, No. 20, pp. 495-511.

Авторы

• Закирова Земфира Ахметовна, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Промышленная безопасность
и охрана труда»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: zakirovaza@mail.ru

• Палладина Яна Александровна
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Студент кафедры «Промышленная безопасность
и охрана труда»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: yanapallada@mail.ru

The Authors

• Zakirova Zemfira A., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Industrial Safety and Labor
Protection Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: zakirovaza@mail.ru

• Palladina Yana A.
Ufa State Petroleum Technological University
Student of Industrial Safety and Labor Protection
Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: yanapallada@mail.ru