

УДК 621.64: 331.461

DOI 10.52928/2070-1616-2024-49-1-101-106

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА ПРОВЕДЕНИЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО ПОД ИЗБЫТОЧНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

канд. техн. наук, доц. Ю.А. БУЛАВКА, К.Ю. КОЖЕМЯТОВ
(*Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой*)

Выполнен комплексный анализ правил по обеспечению промышленной безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением. Разработан алгоритм проведения неразрушающего контроля оборудования, работающего под избыточным давлением на нефтеперерабатывающем предприятии, при возникновении технико-экономических сложностей с проведением внутреннего осмотра, связанного с выгрузкой и загрузкой катализатора, адсорбента или иного вещества, насадки, других внутренних устройств, для выгрузки которых необходима пропарка, способная привести к ухудшению свойств, потере каталитической активности и адсорбционной емкости, механическому разрушению, невозможности регенерации после контакта с атмосферным воздухом и потребует их замены. Внедрение предлагаемого комплекса мер проведения неразрушающего контроля оборудования, работающего под избыточным давлением на нефтеперерабатывающем предприятии, будет способствовать повышению уровня промышленной безопасности, снижению риска возникновения аварий, инцидентов и травм на производстве.

Ключевые слова: авария, оборудование, работающее под избыточным давлением, правила по обеспечению промышленной безопасности.

Введение. Состояние аварийности на производстве продолжает оставаться сложной социально-экономической проблемой, в т.ч. при эксплуатации опасных производственных объектов (ОПО) и потенциально опасных объектов (ПОО), на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением [1–3]. Предприятия нефтеперерабатывающей отрасли промышленности относятся к наиболее взрывопожароопасным объектам, что обусловлено высокой концентрацией ОПО и ПОО. Типовой нефтеперерабатывающий завод производительностью 10–12 млн т нефти в год сосредотачивает на своей территории около 4000 единиц оборудования, работающего под избыточным давлением (колонного, емкостного и реакторного типов, теплообменного оборудования, сепараторов, фильтров и пр.) [3; 4].

На рисунке 1 приведена динамика аварийности и смертельного травматизма при эксплуатации ОПО и ПОО, использующих оборудование, работающее под избыточным давлением, в Российской Федерации, по данным Ростехнадзора, осуществляющего федеральный государственный надзор в области промышленной безопасности за более чем 4 300 опасными производственными объектами нефтехимических, нефтегазоперерабатывающих производств и объектов нефтепродуктообеспечения. Так, за период 2005–2020 гг. произошло 68 аварий и 144 травмы, из которых с летальным исходом 81 случай.

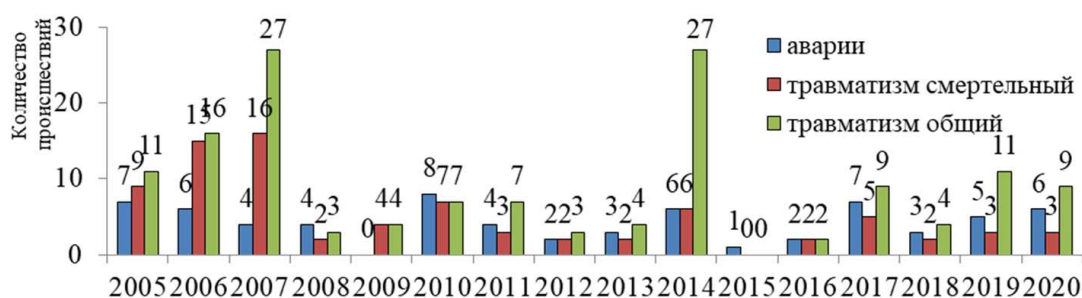


Рисунок 1. – Динамика аварийности и травматизма при эксплуатации ОПО, использующих оборудование, работающее под избыточным давлением Российской Федерации за 2005–2020 гг.

Экспертами Ростехнадзора в результате технического расследования причин происшествий установлено, что основными причинами, способствующими возникновению аварий на ОПО, являются ошибочные действия эксплуатирующего персонала и сервисных организаций, не соблюдающих установленные на законодательном уровне требования в области промышленной и пожарной безопасности при техническом обслуживании и ремонте основного технологического и вспомогательного оборудования, в т.ч. связанные с выполнением огневых и газоопасных работ. При этом более половины всех аварий и производственных травм обусловлены некачественным обслуживанием, освидетельствованием, диагностированием и экспертизой промышленной безопас-

ности оборудования, работающего под избыточным давлением, а также бесконтрольной эксплуатацией оборудования, израсходовавшего расчетный срок службы¹ [5–11].

Коррозионно-эрозионный физический износ из-за длительных сроков эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, является основной причиной разгерметизации и разрушения технических устройств.

Согласно ежегодным статистическим данным Департамента по надзору за безопасным ведением работ в промышленности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь выполнен анализ состояния аварийности и травматизма на опасных производственных объектах Республики Беларусь за период 2009–2021 гг. Динамика состояния аварийности и травматизма по на ОПО Республики Беларусь за период 2009–2021 гг. приведена в таблице 1.

Таблица 1. – Количество происшествий (аварий, инцидентов, несчастных случаев) на опасных производственных объектах Республики Беларусь за период 2009–2021 гг.

Вид надзора/ период наблюдения	Оборудование, работающее под избыточным давлением и тепловые электростанции		Химическая промышленность		Подъемные сооружения и аттракционы		Системы газоснабжения и магистральные трубопроводы		Горные и взрывные работы, металлургические производства		Перевозка опасных грузов		Несчастных случаев	
	аварии	инциденты	аварии	инциденты	аварии	инциденты	аварии	инциденты	аварии	инциденты	аварии	инциденты	общих	летальных
2009	–	–	1	4	6	1	–	–	–	2	1	28	14	3
2010	–	–	1	5	4	–	1	–	3	1	1	17	32	15
2011	–	–	–	3	4	1	–	–	1	–	–	17	19	8
2012	–	–	1	3	1	–	1	2	1	–	–	1	15	6
2013	1	1	1	1	–	1	–	2	–	–	–	–	11	2
2014	1	–	–	2	–	2	–	–	1	–	–	–	10	3
2015	–	–	–	3	3	2	–	–	1	–	–	1	7	2
2016	–	1	1	7	–	3	1	18	1	3	–	–	6	4
2017	–	–	–	6	1	–	–	7	–	2	–	2	4	1
2018	–	–	–	7	2	4	1	5	1	3	–	6	2	1
2019	–	2	–	3	1	9	–	10	–	3	1	9	2	1
2020	–	2	–	6	–	5	–	6	–	1	–	7	0	0
2021	1	2	–	6	–	6	–	1	–	1	–	5	0	0
Всего	3	8	5	56	22	34	4	51	9	16	3	93	122	46

За рассматриваемый период зарегистрировано 46 аварий и 258 инцидентов, последствиями которых стали 122 несчастных случая, из них 46 с летальным исходом (общее количество пострадавших 149 человек, в т.ч. смертельно 52). Наибольшее количество аварий связано с эксплуатацией грузоподъемных сооружений и превышением грузоподъемности кранов, повреждением, неисправностью (выходом из строя) либо отсутствием приборов безопасности (ограничителя грузоподъемности и пр.). Наибольшее количество инцидентов отмечается при перевозке опасных грузов и эксплуатации ОПО и ПОО в химической промышленности. За рассматриваемый период зарегистрировано 3 аварии и 5 инцидентов при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и на тепловых электростанциях, как правило обусловленных недостаточным уровнем производственной и технологической дисциплины и производственного контроля^{2,3,4,5,6,7,8,9,10,11} [12].

¹ Новиков М.В. Состояние аварийности и травматизма при эксплуатации ОПО, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением [Электронный ресурс] // Пром. и эколог. безопасность. Охрана труда. – 2015. – № 6(103). – URL: <https://prominf.ru/article/sostoyanie-avariynosti-i-travmatizma-pri-ekspluatacii-opo-na-kotoryh-ispolzuyetsya>

² Кожемятов К.Ю., Булавка Ю.А. Проблемы обеспечения безопасности при эксплуатации теплообменного оборудования на НПЗ // Интенсификация тепломассообменных процессов, промышленная безопасность и экология: материалы пятой Всерос. студен. науч.-техн. конф. / Казань (23–25 мая 2018 г.). – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. – С. 403–406.

³ Кожемятов К.Ю., Булавка Ю.А. Повышение надежности эксплуатации теплообменного оборудования на нефтеперерабатывающем заводе // Нефть и газ – 2018: сб. докл. 72-й Междунар. молодеж. науч. конф. / Москва (23–26 апр. 2018 г.). – Т. 2. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2018. – С. 189.

⁴ Кожемятов К.Ю., Булавка Ю.А. Анализ практического опыта эксплуатации теплообменного оборудования на нефтеперерабатывающем заводе // Безопасность современных технологий в энергетике: сб. докл. Всерос. специализир. науч.-практ. конф. молодых специалистов (с междунар. участием) / Москва (29–30 марта 2018 г.). – М.: ВТИ, 2018. – С. 299–304.

⁵ Булавка Ю.А., Кожемятов К.Ю. Анализ жизненного цикла оборудования, работающего под избыточным давлением на нефтеперерабатывающем предприятии // Нефть и газ – 2019: сб. тез. 73-й Междунар. молодеж. науч. конф. / Москва (22–25 апр. 2019 г.). – Т. 5. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2019. – С. 450–451.

Целью данного исследования является совершенствование алгоритма проведения неразрушающего контроля оборудования, работающего под избыточным давлением, эксплуатируемого на предприятиях нефтеперерабатывающей отрасли.

Методы и объекты исследований. В качестве объекта исследования принято оборудование, работающее под избыточным давлением на белорусском нефтеперерабатывающем предприятии полного цикла. Экспертно-аналитическими методами выполнен комплексный анализ «Правил по обеспечению промышленной безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением», на основе которого предложен новый алгоритм проведения неразрушающего контроля такого оборудования на НПЗ при возникновении технико-экономических сложностей с проведением внутреннего осмотра.

Результаты и их обсуждение. С целью предотвращения возникновения аварий, инцидентов и производственного травматизма работников ОПО в Республике Беларусь постоянно ведется работа по совершенствованию технических нормативных правовых актов (ТНПА). В частности, постановлением № 84 от 27 декабря 2022 г. Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь с 1 июня 2023 г. вступила в силу новая редакция «Правил по обеспечению промышленной безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» (далее – Правил) – основного документа, регламентирующего безопасную эксплуатацию оборудования под давлением. К наиболее важным направлениям совершенствования Правил можно отнести следующие:

– Необходимость фиксирования в Правилах конкретной разбраковки с указанием допустимых/недопустимых дефектов и их размеров. В ранее действующей редакции Правил любые дефекты являлись недопустимыми, в т.ч. единичные поры, подрезы и т.д. При этом в ГОСТ 34347-2017, регламентирующем изготовление и ремонт сосудов и аппаратов, поры и подрезы могут классифицироваться как допустимые. В результате данного противоречия в ТНПА была необходимость проведения ремонта новых аппаратов за счет средств заказчика оборудования.

– Возможность замены внутреннего осмотра, связанного со значительными техническими сложностями выгрузки и загрузки при наличии в оборудовании катализатора и адсорбента, пневматическим испытанием с контролем методом акустической эмиссии, что наиболее актуально для нефтеперерабатывающих предприятий, где широко применяются реакторы и аппараты с катализаторами, адсорбентами и другими наполнителями. Эти вещества для сохранения рабочих свойств зачастую необходимо хранить и эксплуатировать при строго определенных регламентированных технологических параметрах: температуре, влажности и давлении. Процесс подготовки к внутреннему осмотру, пропарка аппарата могут привести к ухудшению свойств, негодности адсорбента, катализатора или иного вещества, а также насадки, других внутренних устройств, потере способностей и механическому разрушению из-за невозможности их регенерации после контакта с атмосферным воздухом. В связи с этим выгрузка аппарата с последующей дорогостоящей заменой наполнителя проблематична и не всегда реализуема в технологическом процессе, несмотря на значительные достижения в области импортозамещения. Для решения этой проблемы переносили срок внутреннего осмотра на основании результатов предыдущего обследования с установлением усиленного контроля. Нововведение облегчает проведение очередного технического освидетельствования, сокращает время подготовки оборудования. Вместе с тем возникает необходимость совершенствования данного направления для

⁶ Кожемятов К.Ю., Булавка Ю.А. Направления повышения промышленной безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением на НПЗ // Безопасность – 2019: материалы докл. XXIV Всерос. студен. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Проблемы экологической и промышленной безопасности современного мира» / Иркутск (16–19 апр. 2019 г.). – Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2019. – С. 56–58.

⁷ Кожемятов К.Ю., Булавка Ю.А. Анализ ремонтной документации оборудования, работающего под избыточным давлением на НПЗ // Наука. Технология. Производство – 2019: материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию Респ. Башкортостан / редкол.: Н.Г. Евдокимова и др. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2019. – С. 174–176.

⁸ Зайцев В.А., Булавка Ю.А., Кожемятов К.Ю. Анализ состояния промышленной безопасности при эксплуатации и проектировании технологических трубопроводов // Безопасность технологических процессов и производств: тр. III Междунар. науч.-техн. конф. / Екатеринбург (26 мая 2021 г.) / отв. ред. В.А. Елохин. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2021. – С. 60–64.

⁹ Кожемятов К.Ю., Булавка Ю.А. Контроль и диагностика состояния оборудования, работающего под избыточным давлением на нефтеперерабатывающих производствах: направления совершенствования // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: сб. тез. докл. X Междунар. науч.-техн. конф. / Новополюцк (8–9 дек. 2022 г.). – С. 73–75.

¹⁰ Кожемятов К.Ю., Булавка Ю.А. Направления совершенствования правил по обеспечению промышленной безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сб. материалов XVII междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых / Минск (12–13 апр. 2023 г.). В 2 т. – Минск: УГЗ, 2023. – Т. 1. – С. 216–218.

¹¹ Булавка Ю.А., Кожемятов К.Ю. Направления повышения промышленной безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением на нефтеперерабатывающем предприятии // Здоровье и безопасность на рабочем месте: сб. науч. тр. по материалам конф. / Новополюцк-Полоцк (15–17 мая 2019 г.) // гл. ред. И.В. Бухтияров, Т.М. Рыбина. – Минск: Полиграфт, 2019. – Т. 1, вып. 3. – С. 47–51. DOI: 10.31089/978-985-7153-76-3

проведения ревизии и оценки текущего технического состояния оборудования, работающего под избыточным давлением, без доступа внутрь аппарата до исчерпания ресурса наполнителя (катализатора, адсорбента и пр.), а для некоторых единиц оборудования он составляет 20 лет.

– Разбраковка внутреннего защитного покрытия от воздействия температуры. В современных технологических процессах существует класс оборудования, защищенного от воздействия температуры рабочей среды с помощью внутренней теплоизоляционной футеровки. В действующих ТНПА отсутствуют сведения и нормы отбраковки для таких типов покрытий, а их техническое состояние напрямую связано с безопасностью эксплуатации термонагруженных сосудов, работающих под избыточным давлением. В частности, на действующем нефтеперерабатывающем предприятии при вскрытии котлов-утилизаторов установки получения элементарной серы с рабочей температурой 1300–1500 °С после проведения ревизии огнеупорного покрытия в котле-утилизаторе с более высоким технологическим режимом (1400 °С) выявлены значительные разрушения футеровочного покрытия по сравнению с котлом-утилизатором с рабочим температурным режимом в 1300–1340 °С, несмотря на заявленную производителем возможность применения огнеупорного материала до температуры 1800 °С. В процессе ремонта показала свою эффективность установка расклинивающих пластин из стали марки 20Х23Н18. Пластины позволяют дополнительно фиксировать огнеупорный кирпич в проектное положение. Однако требуется разработка эффективной методики ревизии и ремонта огнеупорного покрытия для аппаратов такого типа.

Таким образом, «Правила по обеспечению промышленной безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением», являясь основополагающим документом при ремонте, эксплуатации, модернизации таких аппаратов, характеризуются неполнотой. В частности, отсутствуют рекомендации по определению объемов неразрушающего контроля сварных соединений, норм отбраковки по твердости, – все это определяет необходимость их дальнейшего совершенствования.

На сегодня в нормативных документах описан и используется на практике следующий комплекс мероприятий (алгоритм) проведения неразрушающего контроля при проведении ревизии и оценки текущего состояния оборудования, работающего под избыточным давлением:

- 1) визуальный контроль наружной и внутренней поверхностей, выявление зон повышенного внимания для других методов контроля;
- 2) ультразвуковая толщинометрия; обязательному контролю подлежат основные элементы корпусов аппаратов (обечайки, днища – не менее 4 точек на каждом элементе), штуцера, обечайки люков лазов;
- 3) обстукивание молотком патрубков штуцеров.

По данной методике проведения ревизии основная информация о текущем состоянии конкретной единицы оборудования собирается в большей степени за счет визуального контроля внутренней поверхности оборудования, т.к. основной фактор износа связан с агрессивным воздействием рабочей среды на внутреннюю поверхность элементов корпуса.

В рамках данного исследования для проведения очередного технического освидетельствования оборудования, работающего под избыточным давлением на НПЗ, при возникновении технико-экономических сложностей с проведением внутреннего осмотра, требующего выгрузки и загрузки катализатора, адсорбента или иного вещества и других внутренних устройств, пропарка которых приводит к их негодности, ухудшению эксплуатационных свойств, потере адсорбционной емкости либо каталитической активности, механическому разрушению, невозможности регенерации после контакта с атмосферным воздухом, что потребует их последующей дорогостоящей замены, предложен алгоритм проведения неразрушающего контроля, включающий комплекс мероприятий по проведению ревизии оборудования:

- увеличение объема ультразвуковой толщинометрии с обязательным контролем толщины стенок аппаратов в местах ввода/вывода продуктов, увеличение количества точек замеров патрубков штуцеров с 4 до 8 точек;
- ультразвуковая дефектоскопия мест пересечений кольцевых и продольных сварных швов с чередованием мест проведения контроля;
- ультразвуковой контроль сплошности основного металла, а также получение непрерывной картины толщины металла на контролируемом участке;
- ультразвуковой контроль швов и околошовных зон врезок с условным проходом более $D_s/200$ для аппаратов, работающих с температурой стенки более 250 °С;
- контроль отсутствия развивающихся дефектов пневматическим испытанием с контролем методом акустической эмиссии;
- составление для аппаратов индивидуальных карт контроля с определением, кроме чередующихся участков, также и постоянных, наиболее проблемных, мест контроля исходя из опыта практической эксплуатации конкретной единицы оборудования.

Заключение. Внедрение предложенного комплекса мер (алгоритма) проведения неразрушающего контроля оборудования, работающего под избыточным давлением на НПЗ, при возникновении технико-

экономических сложностей с проведением внутреннего осмотра будет способствовать повышению уровня промышленной безопасности, снижению риска возникновения аварий, инцидентов и травм на производстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kozhemyatov K.Y., Bulauka Y.A. Analysis of equipment life cycle at oil refinery // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 687. – Art. No 066038. DOI: 10.1088/1757-899X/687/6/066038
2. Кожемятов К.Ю., Булавка Ю.А. Направления повышения промышленной безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением на нефтеперерабатывающем предприятии // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Пром-сть. Приклад. науки. – 2019. – № 3. – С. 125–128. DOI: 10.1201/9781003014638
3. Kozhemyatov K.Y., Bulauka Y.A. The improving of the safety level of the equipment working under excessive pressure // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources 2019. – 2020. – Vol. 2. – P. 822–831. DOI: 10.1201/9781003014638
4. Кожемятов К.Ю., Булавка Ю.А. Актуальные проблемы обеспечения безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением на нефтеперерабатывающем предприятии // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2019. – № 1(10). – С. 60–63.
5. Анализ аварийности и травматизма на опасных производственных объектах (ОПО) / Р.Р. Гаязов, Ю.А. Знаемский, В.С. Кадышев и др. // Горный информ.-аналит. бюл. (науч.-техн. журн.). – 2016. – № S4. – С. 3–11.
6. Анализ аварийности и травматизма при эксплуатации подъемных сооружений и оборудования, работающего под избыточным давлением / А.Н. Дерунов, В.Н. Данилов, И.И. Муравская и др. // Горный информ.-аналит. бюл. (науч.-техн. журн.). – 2015. – № S10–44. – С. 3–9.
7. Лаврик В.В. Анализ федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением» на соответствие законодательству в области обеспечения единства измерений // Законодат. и приклад. метрология. – 2023. – № 2(182). – С. 12–18.
8. Трещенко А., Петроченков А. Сроки периодического технического обследования оборудования, работающего под избыточным давлением // ТехНадзор. – 2015. – № 12(109). С. 484–485.
9. Особенности проведения экспертизы промышленной безопасности на объектах, эксплуатирующих оборудование под избыточным давлением / А.Н. Гришин, М.В. Гордина, О.В. Смирнов и др. // Научная мысль. – 2015. – № 4(18). – С. 39–43.
10. Чернышев В.В., Гонтаренко А.Ф. Классификация оборудования, работающего под избыточным давлением, по категориям опасности // Безопасность труда в пром-сти. – 2014. – № 9. – С. 44–47.
11. Гонтаренко А.Ф., Чернышев В.В., Вишняков П.Г. Обязательные требования безопасности к оборудованию, работающему под избыточным давлением // Безопасность труда в пром-сти. – 2012. – № 3. – С. 28–33.
12. Булавка Ю.А. Анализ производственного травматизма на нефтеперерабатывающем предприятии // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Пром-сть. Приклад. науки. – 2011. – № 3. – С. 130–137.

REFERENCES

1. Kozhemyatov, K.Y. & Bulauka, Y.A. (2019). Analysis of equipment life cycle at oil refinery. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, (687), art. No 066038. DOI:10.1088/1757-899X/687/6/066038
2. Kozhemyatov, K.Yu. & Bulavka, Yu.A. (2019). Napravleniya povysheniya promyshlennoi bezopasnosti oborudovaniya, rabotayushchego pod izbytochnym davleniem na neftepererabatyvayushchem predpriyatii [Directions for increasing the industrial safety of equipment operating under excess pressure at an oil refinery]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V. Promyshlennost'. Prikladnye nauki [Herald of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Science]*, (3), 125–128. (In Russ., abstr. in Engl.)
3. Kozhemyatov, K.Y. & Bulauka, Y.A. (2020). The improving of the safety level of the equipment working under excessive pressure. *Topical Issues of Rational Use of Natural Resources* 2019, (2), 822–831. DOI: 10.1201/9781003014638
4. Kozhemyatov, K.Yu. & Bulavka, Yu.A. (2019). Aktual'nye problemy obespecheniya bezopasnosti pri ekspluatatsii oborudovaniya, rabotayushchego pod izbytochnym davleniem na neftepererabatyvayushchem predpriyatii. *Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoj oborony i likvidatsii posledstviy chrezvychainykh situatsii*, 1(10), 60–63. (In Russ.)
5. Gayazov, R.R., Znaemskii, Yu.A., Kadysev, V.S. & Marinin, I.A. (2016). Analiz avariinosti i travmatizma na opasnykh proizvodstvennykh ob'ektakh (OPO) [Analysis of accidents and injuries at hazardous production facilities (HIF)]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) [Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)]*, S4, 3–11. (In Russ., abstr. in Engl.)
6. Derunov, A.N., Danilov, V.N., Muravskaya, I.I. & Larochkina, N.M. (2015). Analiz avariinosti i travmatizma pri ekspluatatsii pod"emnykh sooruzhenii i oborudovaniya, rabotayushchego pod izbytochnym davleniem [Analysis of federal norms and rules in the field of industrial safety “Rules of industrial safety when using equipment operating under excessive pressure” for compliance with legislation in the field of ensuring the uniformity of measurements]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) [Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)]*, S10–44, 3–9. (In Russ., abstr. in Engl.)
7. Lavrik, V.V. (2023). Analiz federal'nykh norm i pravil v oblasti promyshlennoi bezopasnosti «Pravila promyshlennoi bezopasnosti pri ispol'zovanii oborudovaniya, rabotayushchego pod izbytochnym davleniem» na sootvetstvie zakonodatel'stvu v oblasti obespecheniya edinstva izmerenii [Analysis of federal norms and rules in the field of industrial safety “Rules

- of industrial safety when using equipment operating under excessive pressure” for compliance with legislation in the field of ensuring the uniformity of measurements]. *Zakonodatel'naya i prikladnaya metrologiya [Legislative and applied metrology]*, 2(182), 12–18. (In Russ., abstr. in Engl.)
8. Treshchenko, A. & Petrochenkov, A. (2015). Sroki periodicheskogo tekhnicheskogo obsledovaniya oborudovaniya, rabotayushchego pod izbytochnym davleniem. *TekhNadzor*, 12(109), 484–485. (In Russ.)
 9. Grishin, A.N., Gordina, M.V., Smirnov, O.V. & Potekhin, A.A. (2015). Osobennosti provedeniya ekspertizy promyshlennoi bezopasnosti na ob"ektakh, ekspluatiruyushchikh oborudovanie pod izbytochnym davleniem [Features of conducting industrial safety examinations at facilities operating equipment under excess pressure]. *Nauchnaya mysl' [Scientific thought]*, 4(18), 39–43. (In Russ., in Engl.)
 10. Chernyshev, V.V. & Gontarenko, A.F. (2014). Klassifikatsiya oborudovaniya, rabotayushchego pod izbytochnym davleniem, po kategoriyam opasnosti [Classification of equipment operating under excess pressure by hazard categories]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Labor safety in industry]*, (9), 44–47. (In Russ., abstr. in Engl.)
 11. Gontarenko, A.F., Chernyshev, V.V. & Vishnyakov, P.G. Obyazatel'nye trebovaniya bezopasnosti k oborudovaniyu, rabotayushchemu pod izbytochnym davleniem [Mandatory safety requirements for equipment operating under excess pressure]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Labor safety in industry]*, (3), 28–33. (In Russ., abstr. in Engl.)
 12. Bulavka, Yu.A. (2011). Analiz proizvodstvennogo travmatizma na neftepererabatyvayushchem predpriyatii [Analysis of industrial injuries at an oil refinery]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V. Promyshlennost'. Prikladnye nauki [Herald of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Science]*, (3), 130–137. (In Russ., abstr. in Engl.)

Поступила 11.01.2024

**IMPROVING THE ALGORITHM
FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING OF EQUIPMENT
OPERATING UNDER EXCESSIVE PRESSURE**

Y. BULAUKA, K. KOZHEMYATOV
(Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk)

A comprehensive analysis of the rules for ensuring industrial safety of equipment operating under excess pressure was carried out. An algorithm has been developed for conducting non-destructive testing of equipment operating under excess pressure at an oil refinery when technical and economic difficulties arise with carrying out an internal inspection associated with the unloading and loading of a catalyst, adsorbent, or other substance, nozzle, and other internal devices, the unloading of which requires steaming, which may lead to deterioration of properties, loss of catalytic activity and adsorption capacity, mechanical destruction, impossibility of regeneration after contact with atmospheric air and will require their replacement. The implementation of the proposed set of measures for non-destructive testing of equipment operating under excess pressure at an oil refinery will help improve the level of industrial safety and reduce the risk of accidents, incidents and injuries at work.

Keywords: *accident, equipment operating under excess pressure, industrial safety regulations.*