

УДК 62:658.382.3

**НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
ОБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО ПОД ИЗБЫТОЧНЫМ ДАВЛЕНИЕМ  
НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕМ ПРЕДПРИЯТИИ****К.Ю. КОЖЕМЯТОВ; канд. техн. наук, доц. Ю.А. БУЛАВКА  
(Полоцкий государственный университет)**

*Представлены результаты анализа сроков эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением на белорусском нефтеперерабатывающем предприятии, предложены направления повышения промышленной безопасности при работе с данным типом оборудования. Установлено, что высокому риску повышенного износа в процессе эксплуатации, подвержены штуцеры с условным проходом до Ду100, основной металл и металл сварных швов корпуса оборудования. Частая замена штуцеров с малым условным проходом связана с небольшим запасом между исполнительной и отбраковочной толщинами патрубков штуцеров. Установлен средний срок эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением на исследуемом предприятии.*

**Ключевые слова:** нефтеперерабатывающее предприятие; промышленная безопасность; аварийность; оборудование, работающее под избыточным давлением.

**Введение.** Ежегодно в мире на объектах нефтегазовой промышленности происходят около 20 тысяч крупных аварий, причем в последние годы отмечается рост аварийности в нефтеперерабатывающей промышленности [1]. В частности, это такие аварии, как: авария в марте 2005 года на установке изомеризации одного из крупнейших нефтеперерабатывающих заводов США, принадлежащих компании ВР в Тексас-Сити. Произошел мощный взрыв, за которым последовал сильный пожар, 15 человек погибли и свыше 70-ти получили ранения; 29 мая в 2008 году в водородной компрессорной установки по вторичной переработке нефти Киришского НПЗ произошел взрыв водородсодержащей смеси, а затем пожар. На месте погиб один человек, четверо скончались в больнице, ущерб от аварии составил 107 млн руб.; 7 августа 2011 года возник пожар на Хабаровском НПЗ, горело разлившееся топливо и установка насосной станции на общей площади 50 м<sup>2</sup>. Пострадали 5 человек, из которых 2 погибли; 15 июня 2014 года на установке газофракционирования Ачинского НПЗ произошел пропуск углеводородного газа, который привел к объемному взрыву и пожару. Погибли 8 человек, 7 – госпитализированы, всего пострадавших – 24 человека, ущерб составил примерно 800 млн долл.

В Республике Беларусь проводится целенаправленная государственная политика в области промышленной безопасности. Однако состояние аварийности на производстве продолжает оставаться сложной социально-экономической проблемой [2–14]. На территории Беларуси также происходили крупные аварии. Например, 18 июня 2016 года на заводе «Полимир» ОАО «Нафтан» в цеху по производству этилена и пропилена при проведении пусковых технологических операций произошла разгерметизация трубопровода подачи этан-этиленовой фракции с последующим возгоранием по причине неуправляемой реакции гидрирования этан-этиленовой фракции, цех не функционирует и в настоящее время.

Статистические данные показывают, что крупные аварии на НПЗ в большинстве случаев происходят из-за утечек горючей жидкости и пара или углеводородного газа, возникающих в основном по следующим причинам (в порядке убывания) [4; 5]: нарушение правил эксплуатации, технологического регламента; дефекты строительно-монтажных работ, некачественный монтаж и ремонт оборудования; дефекты изготовления оборудования и материалов; отступление от требований проектно-технической документации; износ оборудования, утечки продукта через прокладки, торцовые уплотнения, сальники, коррозия оборудования, прогар труб в печах; конструктивное несовершенство оборудования; внешние природные и техногенные воздействия; несовершенство проектных решений, переполнение промканализации; переполнение емкостей, резервуаров и др.

Цель данного исследования – анализ эксплуатации на НПЗ оборудования, работающего под избыточным давлением; разработка направления по повышению промышленной безопасности.

**Методы исследований.** В качестве объекта исследования рассмотрено оборудование, работающее под избыточным давлением на белорусском нефтеперерабатывающем предприятии полного цикла, изучено оборудование колонного, емкостного и реакторного типов; теплообменное оборудование (в том числе кристаллизаторы), сепараторы и фильтры.

Экспертно-статистическими и аналитическими методами выполнен комплексный анализ ремонтной документации за период 2008–2018 годов и сроков эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением на белорусском нефтеперерабатывающем предприятии.

**Результаты и их обсуждение.** Оборудование колонного типа на исследуемом предприятии составляет 6% от общего числа оборудования на предприятии. К данному типу согласно ГОСТ 31838-2012 отно-

сят цилиндрические вертикальные сосуды постоянного или переменного сечения, оснащенные внутренними тепло- и массообменными устройствами (тарелками или насадкой), а также вспомогательными узлами (ввода жидкости, устройствами для размещения насадочных элементов и т.д.), обеспечивающими проведение технологического процесса (например, ректификации или прямого теплообмена между паром (газом), жидкостью и др.). Анализ ремонтной документации за период 2008–2018 годов показал, что наиболее высокая частота работ по замене: штуцеров с условным проходом до Ду100 (37% объема работ); внутренних устройств (23%); штуцеров с условным проходом Ду100 и более (21%). При этом следует отметить, что реже выполняются работы по ремонту основного металла и металла сварных швов корпуса (около 19% объема работ).

*Сепараторы* составляют 6% от общего числа изучаемого оборудования, относятся к оборудованию отстойного типа, схожи по конструкции с аппаратами колонного типа, но отличаются меньшими размерами, снабжены меньшим количеством тарелок, либо вместо тарелок установлена переливная пластина для разделения жидкостей по плотности. По максимальной частоте проводимых видов ремонтов сепараторов выделяются работы по замене штуцеров с условным проходом до Ду100 (76% объема работ), небольшой процент приходится на остальные виды ремонтов (ремонт основного металла и металла сварных швов корпуса – 11%; замена штуцеров с условным проходом Ду100 и более – 9%; замена внутренних устройств – 4%).

*Фильтры* составляют 7% от общего числа изучаемого оборудования, относятся к аппаратам для осуществления процесса фильтрования. Наибольшей частотой характеризуются ремонты на фильтрах по замене штуцеров с условным проходом до Ду100 (71% объема работ), незначительный процент приходится на остальные виды ремонтов (ремонт основного металла и металла сварных швов корпуса – 19%; замена штуцеров с условным проходом Ду100 и более – 10%), что обусловлено небольшим средним сроком эксплуатации данного вида оборудования.

*Оборудование реакторного типа* составляет 2% от общего числа изучаемого оборудования, относится к сосудам, в которых протекают химические реакции, в том числе в присутствии катализатора. Характеризуются, как правило, наличием высокого давления и температуры. По максимальной частоте проводимых видов ремонтов реакторов выделяются работы по ремонту основного металла и металла сварных швов защитного кожуха, подвергнутого ремонту (75% объема работ), 13% работ приходится на замену внутренних устройств реакторов.

*Оборудование емкостного типа* составляет 41% от общего числа изучаемого оборудования, относится к сосудам, герметично закрытым емкостям (подразделяются на стационарно установленные и передвижные) согласно ТР ТС 032/2013, предназначенные для ведения химических, тепловых и других технологических процессов, а также для хранения и транспортировки газообразных, жидких и других веществ. Наибольшей частотой характеризуются ремонты оборудования емкостного типа, включающие замену штуцеров с условным проходом до Ду100 (70% объема работ); 15% объема работ приходится на замену штуцеров с условным проходом Ду100 и более и ремонт основного металла и металла сварных швов корпуса.

*Оборудование теплообменного типа* составляет 37% от общего числа изучаемого оборудования, относится к оборудованию, предназначенному согласно ГОСТ 31842-2012 для передачи тепла при неизотермических условиях эксплуатации. По максимальной частоте проводимых видов ремонтов оборудования теплообменного типа выделяются работы по ремонту основного металла и металла сварных швов корпуса (31% объема работ), работы по замене штуцеров с условным проходом до Ду 100 (30% объема работ) и замене и ремонту перегородок распределительных камер (24% объема работ). Специфической разновидностью теплообменного оборудования являются скребковые кристаллизаторы [15–17]. На исследуемом предприятии такое оборудование составляет всего 1% от общего числа оборудования, однако средний срок эксплуатации кристаллизаторов составляет 49,2 года. Анализ документации по ремонтам, проводимым на кристаллизаторах, показал, что единственным видом ремонта служит замена основных изнашиваемых частей данного типа оборудования – внутренних либо, реже, наружных труб.

В таблице приведены средние сроки эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением на исследуемом белорусском нефтеперерабатывающем предприятии.

Таблица. – Сроки эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением на НПЗ

Тип оборудования, работающего под избыточным давлением	Средний срок эксплуатации на НПЗ, лет
Оборудование колонного типа	38,6
Оборудование емкостного типа	34,8
Оборудование реакторного типа	32,8
Теплообменное оборудование	31,2
Сепараторы	28,3
Фильтры	25,0

Анализ данных таблицы показал, что наиболее длительный срок эксплуатации принадлежит оборудованию колонного, емкостного и реакторного типов. При этом заявленный разработчиком срок службы сосудов, работающих под избыточным давлением, как правило, составляет 20 лет.

Комплексный анализ жизненного цикла оборудования, работающего под избыточным давлением на белорусском нефтеперерабатывающем предприятии, показал, что высокому риску повышенного износа в процессе эксплуатации подвержены требующие ремонта штуцеры с условным проходом до Ду100, основной металл и металл сварных швов корпуса различного оборудования.

Причина частой замены штуцеров с малым условным проходом связана с небольшим запасом между исполнительной и отбраковочной толщинами патрубков штуцеров. Так, например, для штуцера Ду50 по расчету на прочность достаточно и наиболее часто применяется труба с номинальной толщиной 4 мм. В соответствии с Инструкцией по ревизии, ремонту и отбраковке, принятой на исследуемом предприятии, отбраковочная толщина для патрубка штуцера Ду50 составляет 2,0 мм, если в расчете на прочность не указано иное, большее значение. Исполнительная же толщина стенки в результате погрешности при изготовлении зачастую составляет порядка 3,8...3,9 мм. При этом на практике такие штуцеры бракуются при толщине 2,5...2,7 мм как приближающиеся к отбраковочным для повышения надежности и безотказности работы в межремонтный период и недопущения останова технологической установки из-за пропуска продукта. В таком случае даже при скорости коррозии до 0,1 мм/год, толщины штуцера на практике недостаточно даже на заявленный срок службы сосуда (обычно составляет 20 лет). Из практического опыта замена таких штуцеров при ремонте на толстостенные (порядка 6...8 мм) приводит к безотказной работе данных узлов на протяжении всего жизненного цикла оборудования вплоть до списания.

Таким образом, в качестве направления повышения промышленной безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением, целесообразно, по нашему мнению, для нового оборудования согласовывать с разработчиками увеличение толщины штуцеров с условным проходом до Ду100. При этом, несмотря на незначительное увеличение стоимости такого оборудования, можно добиться безремонтной его эксплуатации даже после окончания назначенного срока службы.

Причинами ремонта основного металла и металла сварных швов являются скрытые металлургические дефекты и дефекты сварных швов, не выявленные при изготовлении сосуда (аппарата), а также агрессивное воздействие рабочей среды сосуда (аппарата), образование застойных зон, накопление частиц твердой фазы из рабочей среды (окалина, механические примеси и др.), которые контролируются визуально и с помощью ультразвуковой толщинометрии. В местах, вызывающих подозрение на наличие дефектов, дополнительно может проводиться ультразвуковая или цветная дефектоскопия.

Представляется, что для минимизации количества ремонтов данного типа целесообразно: усилить входной контроль для вновь монтируемого оборудования, а также контроль за подбором материала для конкретной рабочей среды и рабочих параметров, таких как температура и давление; обеспечить четкое соблюдение норм технологического регламента; для вновь проектируемого оборудования применять современные технические решения для минимизации количества застойных зон.

**Заключение.** По итогам проведенного исследования установлен средний срок эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением на исследуемом предприятии: дольше всего используется оборудование колонного типа (38,6 лет) и емкостного типа (34,8 года), реактора (32,8 года), оборудование теплообменного типа (31,2 года).

Полученные результаты по комплексному анализу жизненного цикла оборудования, работающего под избыточным давлением, могут быть эффективно использованы для повышения уровня промышленной безопасности, снижения риска аварий на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bulauka, Y.A. Emergency sorbents for oil and petroleum product spills based on vegetable raw materials / Y.A. Bulauka, K.I. Mayorava, Z. Ayoub // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. 2018. – Vol. 451 (1). art. no. 012218.
2. Булавка, Ю.А. Проблема выбора наиболее опасного аппарата для оценки взрывоопасности технологического блока на нефтеперерабатывающих и нефтехимических производствах / Ю.А. Булавка // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2016. – № 11. – С. 125–129.
3. Бирюк, В.А. Методы оценки рисков в системе управления промышленной безопасностью предприятий нефтехимической промышленности / В.А. Бирюк, Ю.А. Булавка, Р.Н. Иманов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь. – 2018. – № 4. – Т. 2. – С. 437–445.
4. Апостериорная оценка состояния аварийности на нефтеперерабатывающем предприятии / Ю.А. Булавка, [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2012. – № 9. – С. 122–128.

5. Булавка Ю.А. Анализ инцидентов на нефтеперерабатывающем предприятии / Ю.А. Булавка, О.О. Смиловенко, Е.В. Шашевич // Вестник Командно-инженерного института МЧС. – 2012. – № 2(16). – С. 69–76.
6. Булавка, Ю.А. Анализ производственного травматизма на нефтеперерабатывающем предприятии / Ю.А. Булавка // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2011. – № 3. – С. 130–137.
7. Булавка, Ю.А. Современное состояние и совершенствование методики экспертной оценки профессионального риска на рабочих местах / Ю.А. Булавка // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2013. – № 3. – С. 156–163.
8. Булавка, Ю.А. Концептуальный подход к оценке профессионального риска на опасных производственных объектах / Ю.А. Булавка, О.О. Смиловенко // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2013. – Т. 8, № 1. – С. 125–131.
9. Булавка, Ю.А. Совершенствование технологии экспертной оценки профессионального риска на рабочих местах / Ю.А. Булавка // Безопасность жизнедеятельности. – 2013. – № 7. – С. 9–15.
10. Булавка, Ю.А. Развитие комплексной оценки профессионального риска путем учета суммарной вредности условий труда / Ю.А. Булавка // Гигиена и санитария. – 2013. – № 4. – С. 47–54.
11. Булавка, Ю.А. Нечетко-множественный подход к экспертной оценке профессиональных рисков на примере условий труда работников нефтеперерабатывающего завода / Ю.А. Булавка // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С, Фундаментальные науки. – 2013. – № 12. – С. 59–66.
12. Покровская, С.В. Моделирование последствий аварий на опасных производственных объектах нефтеперерабатывающей промышленности с использованием программного комплекса ТОХИ<sup>Risk</sup> / С.В. Покровская, Ю.А. Булавка, Д.В. Галкина // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2016. – № 3. – С. 173–178.
13. Булавка, Ю.А. Факторы априорного профессионального риска для работников нефтеперерабатывающих производств / Ю.А. Булавка // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2017. – № 3. – С. 135–140.
14. Старовойтов, И.Г. Методы оценки риска в системе управления охраной труда / И.Г. Старовойтов, В.А. Бирюк, Ю.А. Булавка // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь. – 2018. – № 1, Т. 2. – С. 5–17.
15. Кожемятов, К.Ю. Проблемы обеспечения безопасности при эксплуатации теплообменного оборудования на НПЗ / К.Ю. Кожемятов, Ю.А. Булавка // Интенсификация тепло-массообменных процессов, промышленная безопасность и экология : материалы пятой Всероссийской студенческой науч.-техн. конф., Казань, 23–25 мая 2018 г. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2018. – С. 403–406.
16. Кожемятов, К.Ю. Повышение надежности эксплуатации теплообменного оборудования на нефтеперерабатывающем заводе / К.Ю. Кожемятов, Ю.А. Булавка // Нефть и газ – 2018 : сб. докл. 72-й междунар. молодежной науч. конф., Москва, 23–26 апр. 2018 г. Т. 2. – М. : Издат. центр РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2018. – С. 189.
17. Кожемятов, К.Ю. Анализ практического опыта эксплуатации теплообменного оборудования на нефтеперерабатывающем заводе / К.Ю. Кожемятов, Ю.А. Булавка // Безопасность, современные технологии в энергетике : всероссийская специализированная науч.-практ. конф. молодых специалистов (с международным участием), 29–30 марта 2018 г. : сб. докл. – М. : ВТИ. – 2018. – С. 299–304.

Поступила 02.01.2019

## DIRECTIONS TO IMPROVE INDUSTRIAL SAFETY OF EQUIPMENT OPERATING UNDER EXCESSIVE PRESSURE ON OIL REFINING ENTERPRISE

**K. KOZHEMYATOV, Y. BULAUKA**

*The results of the analysis of the service life of equipment operating under excessive pressure at the Belarusian oil refinery are presented, directions for improving industrial safety when working with this type of equipment are proposed. It has been established that fittings with conditional passage up to DN100, the base metal and metal of the welds of the equipment body are exposed to increased wear during operation. Frequent replacement of fittings with a small conditional passage is connected with a small margin between the executive and rejection thicknesses of fittings' nozzles. The average service life of equipment operating under excessive pressure at the studied enterprise was established: types of equipment used the longest are column type, capacitive type, reactor and the heat exchange type.*

**Keywords:** oil refinery, industrial safety, accident rate, equipment operating under excessive pressure.