© ЗАО НТЦ ПБ

DOI: 10.24000/0409-2961-2023-12-48-56
УДК 331.464:613.6.02
© И.Н. Антоненко, 2023

Влияние вида организации ремонта на безопасность труда и уровень травматизма

И.Н. Антоненко,
канд. техн. наук, начальник отдела,
antonenko@spectec.ru

ООО «НПП СпецТек», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Планирование системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья включает идентификацию опасностей и оценку рисков. На основе анализа зарубежных источников представлена взаимосвязь уровня травматизма на предприятии и применяемого вида организации ремонта оборудования. Идентифицированы опасности, связанные с ремонтной деятельностью, показаны на примерах коренные причины инцидентов. Предложено использовать в системе менеджмента показатели, характеризующие процессы технического обслуживания и ремонта. На их основе могут быть установлены критерии для оценки риска и показатели деятельности в области безопасности труда и охраны здоровья.

Ключевые слова: вид ремонта, система менеджмента, безопасность труда, охрана здоровья, уровень травматизма, идентификация опасностей, оценка рисков, причины инцидентов, техническое обслуживание, показатели деятельности.
Для цитирования: Антоненко И.Н. Влияние вида организации ремонта на безопасность труда и уровень травматизма// Безопасность труда в промышленности. 2023. № 12. С. 48–56. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-12-48-56

The Influence of the Type of Repair Organization on Occupational Safety and Injury Rate

I.N. Antonenko, Cand. Sci. (Eng.), Head of the Department, NPP SpetsTek LLC, Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. An important task of an industrial enterprise is to ensure the reliability of equipment at the operational stage. For this purpose, repair activities are carried out at the enterprise, which involve hazards and risks in the field of occupational safety and health protection. The hazards of emergency repairs are related to their unplanned, sudden, emergency and non-standardized operations. Often unforeseen situations arise, works are performed without prior detailed risk analysis and without elaborated procedures for their implementation. These circumstances are the hazards with which incident risks are associated. The least hazardous is the organization of preventive maintenance and technical condition repairs. And the lowest danger is characterized by the organization of predictive maintenance.
Statistical data from the foreign sources confirm the existence of direct correlation between the volume of emergency repairs, backlog works and unscheduled downtime on the one hand and injury rate on the other. And vice versa, there is an inverse correlation of the level of injuries with the volume of preventive maintenance, the degree of compliance with the maintenance schedule. In this regard, it is advisable to use in the occupational safety and health management system the indicators known from practice as indicators of maintenance processes. They characterize production processes in terms of the share of emergency repairs, preventive maintenance, maintenance repairs in the total volume of work, as well as the degree of fulfillment of the maintenance plan-schedule, etc. On their basis, the criteria for risk assessment and performance indicators in the field of occupational safety and health can be established.
Monitoring these indicators in the information system and measures to improve them will help to ensure the workplace safety by improving maintenance and repair processes, identifying and eliminating root causes hidden in these processes.
Keywords: type of repair, management system, occupational safety, health protection, injury rate, hazard identification, risk assessment, causes of incidents, maintenance, performance indicators.
For citation: Antonenko I.N. The Influence of the Type of Repair Organization on Occupational Safety and Injury Rate. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry.* 2023. № 12. pp. 48–56. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2023-12-48-56

Введение

При планировании процессов в области безопасности труда и охраны здоровья (БТОЗ) организация должна выявлять (определять) и оценивать риски БТОЗ [1]. В соответствии с п.п. 6.1.1, 6.1.2.1, 6.1.2.2 [1] при определении рисков организация должна принимать во внимание существующие опасности, которые должны быть идентифицированы, а также установить критерии для оценки рисков.

Опасности могут быть связаны со множеством факторов, в частности, с инфраструктурой, применяемыми оборудованием, материалами, веществами, физическими условиями на рабочих местах, с характером производства, обслуживания, утилизации, наконец, с человеческим фактором и тем, каким образом выполняется работа.

Предмет исследования — опасности и риски, связанные с деятельностью по техническому обслуживанию и ремонту (ТО и Р) технологического оборудования и машин, используемых для производственной деятельности (далее — оборудование).

О видах организации ремонта

Совокупность координируемых действий, являющихся частью системы управления надежностью оборудования и ориентированных на достижение,

поддержание и подтверждение ее требуемого уровня, называют обеспечением надежности [2].

На этапе проектирования и изготовления достигается проектная (собственная) надежность оборудования. А на этапе его эксплуатации осуществляется поддержание надежности — в идеале не ниже собственной надежности. Эксплуатационная надежность зависит от готовности, безотказности, долговечности, ремонтопригодности и сохраняемости оборудования, обеспеченности его техническим обслуживанием и необходимыми ресурсами, а также применяемых организационных и логистических процессов, квалификации персонала, внешних воздействий [3].

Исторически сложились три основных вида организации ТО и Р [4]:

аварийный ремонт;

планово-предупредительный ремонт (ППР);

ремонт по техническому состоянию (РТС).

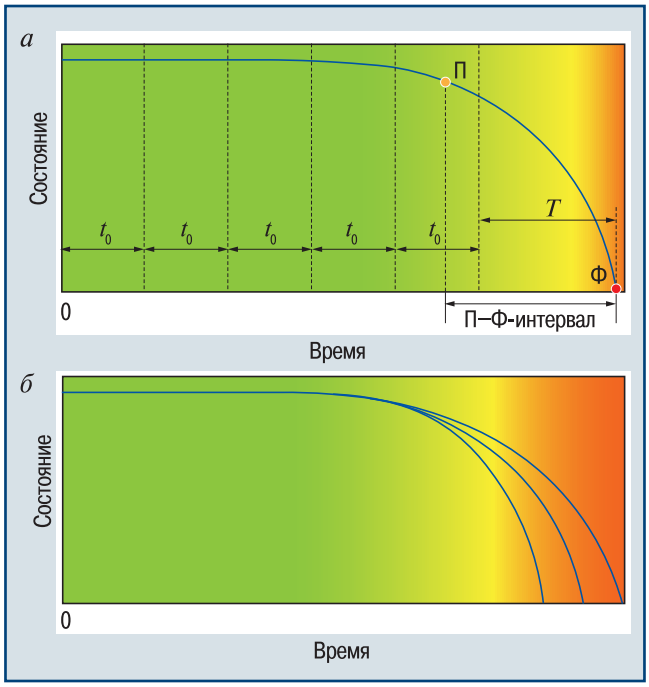
В рамках первого вида организации ТО и Р действуют по принципу: «Пусть ломается, починим». При этом предупреждающее обслуживание оборудования не выполняется, отказу позволяют произойти, после чего следует аварийный ремонт. Это исторически первый и наиболее простой подход, при котором обеспечение надежности сводится к реакции на отказы. Данный вид организации ТО и Р является применимым, если его применение не противоречит требованиям промышленной безопасности. Рациональная предпосылка для его применения: гарантийный срок на оборудование истек или не установлен. Сюда же в дальнейшем будем относить отказы оборудования и аварийные ремонты, которые имеют место, несмотря на проведение предупреждающего ТО и Р.

При выполнении ППР обычно исходят из упрощенной предпосылки: по достижении заранее известной наработки оборудования начинает расти риск его отказа. Поэтому при достижении этой наработки заранее выполняют ППР, чтобы предупредить отказ. Работа выполняется с периодичностью и в объеме, установленными регламентом. Вывод в ремонт осуществляется независимо от технического состояния оборудования в текущий момент.

Это более совершенный подход, но предпосылка, из которой он исходит, часто не подтверждается практикой [5], а частота обслуживания, жестко заданная регламентом, не всегда учитывает условия эксплуатации на реальном объекте, поэтому может быть недостаточной (тогда отказ не упреждается) или избыточной — в этом случае провоцируется рост числа отказов и аварийных ремонтов [6]. При избыточном обслуживании увеличивается вероятность ошибок (сделал не то, что нужно) и упущений (не сделал то, что нужно) персонала, которые неизбежны в силу недостижимости идеального психологического состояния человека и уровня его знаний и навыков, а также качества ремонтной документации. Кроме того, избыточная замена элементов оборудования новыми (либо восстановленными старыми) увеличивает интенсивность «приработочных» отказов, вероятность которых можно снизить, но невозможно свести к нулю. Поэтому следование логике «чаще — не реже» ведет к снижению эксплуатационной надежности оборудования.

Организация ремонта по техническому состоянию основана на П–Ф-кривой [7] (рис. 1). Последняя представляет собой модель изменения состояния оборудования от предотказного (точка П — неисправность) до неработоспособного (точка Ф — отказ). Точкой П принято обозначать момент, когда предотказное состояние может быть обнаружено методами технической диагностики, поэтому ее положение зависит от эффективности метода обнаружения. Для предупреждения отказа оборудования выполняют ТО и Р по его фактическому состоянию. Работы включают контроль состояния с периодичностью t_0 согласно регламенту (t_0 должен быть меньше П–Ф-интервала хотя бы в 2 раза), а после обнаружения точки П — собственно ремонт. Вывод в ремонт осуществляется в зависимости от технического состояния оборудования, исходя из постулата: проводить ремонт необходимо именно тогда, когда это действительно нужно, и в том объеме, который требуется по фактическому состоянию.

Однако, в отличие от идеальной П–Ф-кривой (рис. 1, *а*), реальная кривая (рис. 1, *б*) имеет высокую вариабельность, которая зависит от изменчивости качества изготовления оборудования, крепежа, центровки, балансировки при его монтаже и вводе в эксплуатацию, соблюдения правил эксплуатации и истории режимов эксплуатации. Это создает предпо-



▲ **Рис. 1. Кривая П–Ф и ее вариабельность**
▲ **Fig. 1. The P–F curve and its variability**

© ЗАО НТЦ ПБ

сылки к тому, что точка П будет обнаружена слишком поздно, а корректирующую работу не успеют провести за оставшееся время *T* до достижения точки Ф.

Возможен смешанный вид организации ТО и Р, когда ремонт выполняется с периодичностью, установленной в регламенте, а объем ремонта формируется на основе требований эксплуатационной документации с учетом технического состояния оборудования.

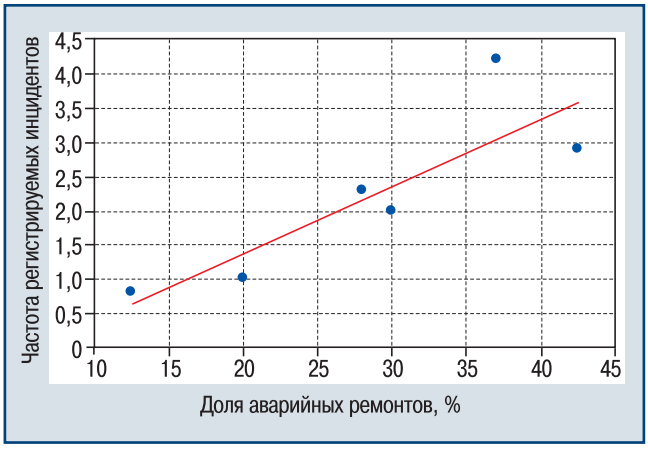
Развитием идеи РТС является прогностическое обслуживание (основанное на прогнозировании) [8], в основу которого положены алгоритмы обработки данных о техническом состоянии и выявления в них известных сигнатур отказа. При этом сбор данных осуществляется как путем периодического контроля, так и непрерывного мониторинга. В результате обеспечивается более раннее выявление предотказного состояния и прогнозируется срок до отказа. Зная оставшееся время до отказа, можно подготовиться к необходимым работам: заказать запчасти, согласовать отключение и остановку оборудования, запланировать персонал, подготовить технологические карты работ и включить работы в план на следующий период (месяц, квартал).

Помимо перечисленных видов организации ТО и Р может выполняться большой объем непериодических работ по устранению дефектов, улучшению конструкции оборудования, изменению режимов и правил эксплуатации в целях искоренения дефектов, а также техническому перевооружению.

Корреляция инцидентов и видов организации ремонта

В [9] приводится статистика, подтверждающая прямую корреляцию между долей аварийных ремонтов и частотой регистрируемых инцидентов (рис. 2). Последняя определяется Управлением по охране труда США[1] как количество зарегистрированных травм и заболеваний в год на 100 работников, занятых полный рабочий день (200 тыс. ч), по каждому предприятию с последующим агрегированием результатов по отраслям и другим характеристикам. Доля аварийных ремонтов определяется от общего количества ремонтных работ (см. рис. 2).

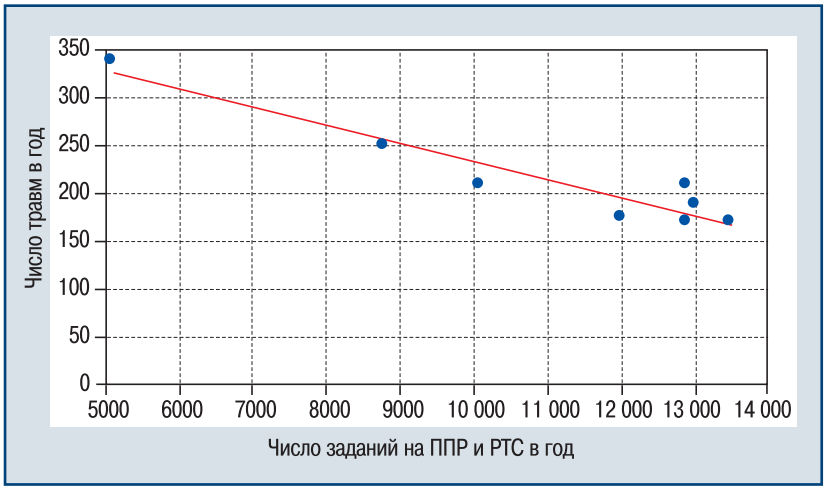
Статистика показывает, что чем меньше аварийных ремонтов, тем меньше частота регистрируемых инцидентов. Вывод сделан по результатам обследования 140 предприятий из различных отраслей, эксплуатирующих почти 3000 объектов в Северной Америке.



▲ **Рис. 2. Прямая корреляция уровня травматизма с объемом аварийных ремонтов**

▲ **Fig. 2. Direct correlation of the injury rate with the volume of emergency repairs**

Аналогичные результаты в отношении объема аварийного ремонта получены по итогам обследования крупного химического завода за 8-летний период [10]. Одновременно число травм в год снижается по мере смещения акцента на предупреждающее обслуживание — ППР и РТС (рис. 3). При этом под заданием (см. рис. 3) понимается документ, выдаваемый исполнителю ремонта, в котором указан заказчик и исполнитель работ, их содержание, плановые даты начала (окончания), необходимые запчасти и материалы и т.д.

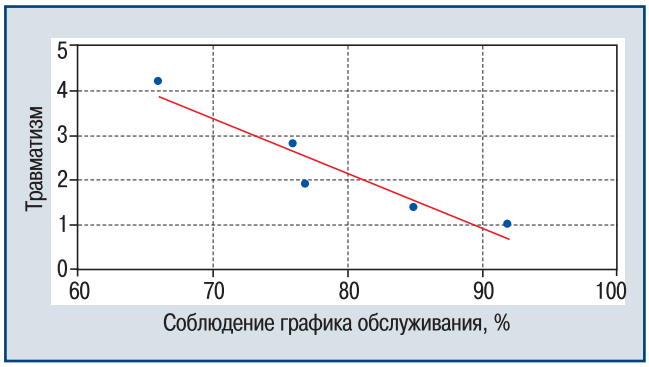


▲ **Рис. 3. Обратная корреляция уровня травматизма с объемом ППР и РТС**

▲ **Fig. 3. The inverse correlation of the injury rate with the volume of the scheduled preventive maintenance and repair according to the technical condition**

Данные [10] по пяти производственным площадкам еще одного крупного глобального промышленного производителя за год указывают на то, что лучшее соблюдение графика предупреждающего обслуживания соответствует более безопасной рабочей среде (рис. 4). При этом по вертикальной оси (см. рис. 4) указано нормированное число травм, а

[1] Occupational Safety and Health Administration, OSHA, — управление в Министерстве труда США, которое занимается вопросами охраны труда и профилактики профзаболеваний.

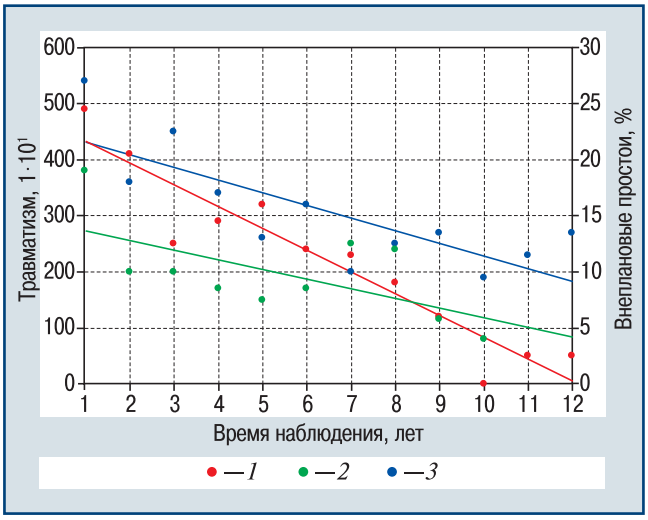


▲ Рис. 4. Обратная корреляция уровня травматизма с соблюдением графика обслуживания
▲ Fig. 4. Inverse correlation of injury rate with adherence to the maintenance schedule

по горизонтальной — доля запланированных работ, выполненных в пределах планового срока.

Наблюдения Научно-испытательного центра им. Арнольда (США) (Arnold Engineering Development Complex) демонстрируют связь надежности и безопасности под иным углом [11]. Это крупный летно-испытательный центр, который эксплуатирует многочисленные аэродинамические трубы, испытательные камеры ракетных и турбинных двигателей, камеры космической среды, дуговые нагреватели, баллистические полигоны, центрифуги и т.д.

На рис. 5 (здесь *1* — бэклог; *2* — травматизм, $1 \cdot 10^1$; *3* — внеплановые простои, %) представлена статистика этого центра за 12 лет наблюдений по травматизму, внеплановым простоям и бэклогу). По вертикальной оси указано число травм в год (для удобства умноженное на 10), величина внеплановых простоев (в % от времени планового простоя на предупредительные ремонты и обслуживание). Очевидна корреляция: со снижением объема внеплановых простоев и бэклога снижается уровень травматизма.



▲ Рис. 5. Прямая корреляция уровня травматизма с бэклогом и внеплановыми простоями
Fig. 5. Direct correlation of injury rate with backlog and unscheduled downtime

Внеплановые простои происходят в связи отказами оборудования, некачественным ремонтом, продлением простоя в ремонтах из-за отсутствия запчастей, персонала, в ожидании инструктажей, отключений и по другим причинам.

Бэклог — это отложенные работы. Сюда входят работы, заявки на которые уже поступили или срок проведения которых уже наступил, но при этом не выполненные, поскольку еще не определены необходимые ресурсы, или ресурсы определены, но не обеспечены, или не назначены исполнители и срок выполнения, или работа готова к выполнению, но просрочена из-за отсутствия персонала либо по другой причине.

Корреляция травматизма с бэклогом демонстрирует еще один недостаток «избыточного обслуживания». Необоснованный расход трудовых ресурсов на избыточное обслуживание увеличивает вероятность того, что этих ресурсов не хватит на выполнение более важных работ, отчего возрастет отставание в обслуживании оборудования, увеличится риск травматизма.

Отечественная статистика производственного травматизма не позволяет выявлять и анализировать взаимосвязь между инцидентами и применяемыми видами организации ремонтов. В соответствии с нормативно-правовыми актами устанавливается причинная связь травматизма с нарушением обязательных требований.

В частности, в течение ряда лет (с 2016 по 2021 г.) причиной около трети несчастных случаев с тяжелыми последствиями была неудовлетворительная организация производства работ [12]. Согласно классификатору причин несчастных случаев на производстве, утвержденному приказом Минтруда России от 20 апреля 2022 г. № 223н[1], расследование может показать, например, следующую причину: неудовлетворительная организация производства работ, выразившаяся в необеспеченности работников необходимым технологическим и вспомогательным оборудованием, материалами, инструментом. Таким образом, выявляется непосредственная причина несчастного случая, что позволяет привлечь виновных к ответственности.

Идентификация опасностей

Анализ позволяет сделать веский вывод о наличии опасностей, связанных с применяемыми видами организации ремонта. Аварийным ремонтам свойственна внеплановость и, как правило, внезапность, экстренность и нестандартность. В то же время ППР и обслуживание, основанное на прогнозировании,

1 Об утверждении Положения об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях, форм документов, соответствующих классификаторов, необходимых для расследования несчастных случаев на производстве: приказ Минтруда России от 20 апр. 2022 г. № 223н.

© ЗАО НТЦ ПБ

имеют плановый характер. При этом, как уже указывалось, регламент ППР не всегда учитывает условия эксплуатации на реальном объекте, поэтому работы, выполняемые по регламенту, не всегда соответствуют фактическому состоянию оборудования, а значит, и характеру связанных с ним опасностей.

Промежуточное положение занимает ремонт по состоянию: контроль состояния оборудования является периодическим и плановым, а сама работа по восстановлению исправного состояния — внеплановая. При этом отпадает фактор внезапности, а длительность П–Ф-интервала может быть достаточной для того, чтобы снизить степень экстренности и успеть подготовиться к работе.

Отклонение от рутинного ТО и Р в сторону увеличения объема аварийного ремонта приводит:

к росту числа остановок и запусков оборудования, для которых характерны непредвиденные ситуации; вероятность проблем с безопасностью в 7–17 раз выше во время останова и запуска, чем при стабильной работе оборудования [10];

к выполнению операций без предварительного детального анализа рисков, поскольку нужно срочно восстанавливать работоспособность оборудования;

к выполнению нестандартных операций, которые ранее не выполнялись в таком виде и при таких обстоятельствах и потому не имеют проработанных процедур их выполнения;

к фактическому испытанию имеющихся средств контроля безопасности на их достаточность и эффективность в непредвиденных условиях.

Перечисленные обстоятельства представляют собой опасности, т.е. факторы, которые могут привести к травмированию и нанесению ущерба здоровью персонала [1]. С ними связаны риски инцидентов. Таким образом, между инцидентами и применяемыми видами организации ремонта существует не только корреляция, но и прямая (причинная) связь.

Очевидно, что наибольшую опасность несут «аварийные ремонты». В меньшей степени опасны ППР и ремонты по состоянию, а наименее опасно обслуживание, основанное на прогнозировании. Американский национальный институт стандартов (ANSI от англ. American National Standards Institute) сравнил данные по двум группам предприятий [13]. В обеих группах предупреждающее обслуживание (ППР + РТС) составляло более 50 % объема ТО и Р, но при этом в первой группе прогностическое обслуживание составило в среднем 43,9 % объема ТО и Р, а во второй — в среднем 8,8 %. При этом во второй группе (с преобладанием ППР) выявлено на 21 % больше простоев, вызванных отказами. Это значит, что в первой группе на 21 % меньше аварийных ремонтов и ниже риск травматизма по сравнению с группой, где преобладали ППР.

Тем не менее зарубежные исследования [14] показывают, что в среднем почти половина времени ТО и Р тратится на аварийные ремонты, несмотря на присущие им опасности, а лучшая практика соответствует 70–85 % времени, потраченного на предупредительные работы (ППР и РТС). Согласно исследованию [15], у среднего предприятия 35 % оборудования подвергается аварийным ремонтам (Reactive Maintenance), 38 % — ППР (Preventive Maintenance), 14 % — прогностическому обслуживанию и 10 % — техническому обслуживанию, ориентированному на обеспечение безотказности (RCM, от англ. Reliability-Centered Maintenance) [16].

Корневые причины инцидентов

Корректирующее действие должно быть направлено на устранение корневой (коренной) причины инцидента с тем, чтобы он не повторялся здесь или в другом месте [1]. Поэтому для определения корректирующего действия критически важно выявить корневую причину инцидента.

Базовым инструментом выявления коренных причин является метод RCA (Root Cause Analysis) [17]. В развитие RCA предложен метод IPICA (Integrated Procedure for Inci-dent Cause Analysis) [18], рассматривающий 4 уровня причин инцидентов:

непосредственные причины, к которыми относятся отказы оборудования, человеческий фактор (нарушения и ошибки) и неадекватность процедур выполнения действий;

несоответствия в элементах системы управления безопасностью, к которым относятся недостатки организации работ как по требованиям системы управления безопасностью, так и по культуре безопасности персонала и линейного руководства;

отношение руководства, которое потенциально является коренной причиной;

социальные причины, являющиеся факторами влияния на отношение руководства к безопасности (например, господствующая установка о том, что останавливать производство нельзя в силу социальных последствий).

Анализ зарубежного опыта показывает, что коренными причинами аварийных ремонтов и связанных с ними инцидентов могут стать следующие обстоятельства. Руководство не установило систему поощрений за безотказную работу оборудования и, наоборот, имеется система поощрений за устранение отказов. Показатели безотказности не измеряются и не контролируются в информационной системе. Руководство превозносит заслуги ремонтников, отмечает их самоотверженную работу. Ремонтники в такой системе вознаграждаются не только материально (за сверхурочную работу), но и нематериально. Они ощущают свою значимость и встречают в штыки инициативы по улучшению положения дел, которые угрожают их высокому профессиональному статусу и материальному благополучию [19].

Другой пример коренной причины. Руководство недооценивает роль планировщика работ по ТО и

Р, что может выражаться: в отсутствии выделенной должности планировщика и выполнении его работы совместителями; в загрузке планировщика посторонней работой, в то время как сам он готов с этим мириться; в отсутствии у него инструмента для планирования, а именно — информационной системы [20, 21]. Сформированные в такой ситуации планы работ оказываются «сырыми», отчего в среднем почти половина (45 %) времени исполнителей работ тратится впустую — на поиск и транспортировку запчастей, инструментов и документации, ожидание инструктажей и отключений и т.д. [22]. Ремонтники не успевают выполнить значительную часть работ, растет объем отложенных работ и отклонение от графика ТО и Р, снижается надежность и растет объем аварийных ремонтов, а вместе с этим растут и риски в области БТОЗ.

Критерии риска и показатели деятельности в области безопасности труда и охраны здоровья

В связи с изложенным выше представляется целесообразным использование в системе менеджмента БТОЗ следующих показателей, известных из практики как показатели для характеристики процессов обеспечения надежности на этапе эксплуатации:

процент аварийных ремонтов в общем объеме ТО и Р;

процент аварийных ремонтов, выполненных на основании оценки риска отказа, в общем объеме аварийных работ;

процент предупредительных работ в общем объеме ТО и Р;

процент ремонта по техническому состоянию в общем объеме ТО и Р;

процент прогностического обслуживания в общем объеме ТО и Р;

объем корректирующих работ по отношению к объему инспекций и осмотров;

степень выполнения плана-графика ТО и Р;

соотношение планового и фактического времени выполнения ТО и Р;

объем отложенной работы;

процент просроченных работ;

процент отказов, по которым проведен анализ коренных причин.

Показатели должны соответствовать определенным требованиям [23]. Абсолютные значения этих показателей могут использоваться в качестве критериев для оценки риска в области БТОЗ.

Указанные показатели должны иметь целевые значения, ориентируясь на которые организация сможет планировать и принимать результативные предупреждающие и защитные меры, включающие устранение опасностей, замену процессов и операций на менее опасные, изменение организации работ и т.д. [1]. В частности, снижение доли аварийных ремонтов сокращает число случаев, когда персонал подвергается опасности. И наоборот, стабильная рабочая среда, возникающая при плановых работах, более безопасна. Степень приближения к целевым значениям перечисленных показателей может использоваться в качестве показателя деятельности в области БТОЗ.

При установлении целевых значений показателей следует учитывать мировую практику. Например, все сказанное выше отнюдь не значит, что целевым значением показателя «процент аварийных ремонтов в общем объеме ТО и Р» должна быть величина 0 %, а показателя «процент предупредительных работ в общем объеме ТО и Р» — 100 %.

Современный подход к формированию программы технического обслуживания [5] предполагает комплексное применение перечисленных видов организации ТО и Р, включая аварийные ремонты, и рациональный выбор применяемого вида ТО и Р на основе оценки риска отказов. В частности, если отказ данной единицы оборудования не влечет значимых последствий (для безопасности, экологии, производства), то рациональным будет применение аварийного ремонта. Лучшая мировая практика фиксирует целевые значения показателя «процент аварийных ремонтов в общем объеме ТО и Р» на уровне 10–15 %, а показателя «процент предупредительных работ в общем объеме ТОиР» — 85–90 %. Поскольку нет значимых последствий отказа, то отпадает и фактор экстренности, что позволяет лучше подготовиться к выполнению аварийных работ.

При этом показателю «процент аварийных ремонтов, выполненных на основании оценки риска отказа, в общем объеме аварийных работ» может быть назначено целевое значение, близкое к 100 %. Это будет означать, что вид организации ТО и Р «аварийные ремонты» применяется только на основании оценки риска отказа и соответствующего обоснованного решения руководства.

В отношении показателя «объем корректирующих работ по отношению к объему инспекций и осмотров» мировой практикой выработано эмпирическое «Правило 6 к 1» [24]: на шесть повторяющихся осмотров должна приходиться одна корректирующая работа. В зависимости от отрасли могут приводиться иные рекомендации, например, на 5 осмотров — одна корректирующая мера. Это означает, что результатом инспекций и осмотров должны быть заявки на корректирующие работы, направленные на устранение дефектов, а значит — на предупреждение отказов.

Если осмотры не порождают корректирующие работы, значит такие осмотры неэффективны. Если заявки на корректирующие работы порождаются слишком часто (например, в соотношении 3 к 1), это значит, что осмотры проводятся редко, а значит, можно пропустить отказ, который станет причиной аварийного ремонта. Если же соотношение составляет, например, 100 к 1, это может означать, что осмотры проводятся слишком часто, на что отвлекаются

© ЗАО НТЦ ПБ

ресурсы, которые необходимы для выполнения иных работ.

С другой стороны, периодичность осмотров может определяться длительностью П–Ф-интервала, как было указано выше, и потому снизить их частоту нельзя. В таком случае можно сделать вывод о целесообразности замены осмотров техническим мониторингом.

Приведенные целевые значения верны для статистически значимого количества оборудования и работ — от сотни единиц оборудования и тысячи работ в год. Применимость же самих показателей не зависит от количества оборудования и работ.

Заключение

Зарубежные данные полевых исследований подтверждают, что существует взаимосвязь между инцидентами и применяемыми видами организации ремонтов, а значит, и между рисками в области безопасности труда и охраны здоровья и предлагаемыми показателями, характеризующими процессы обеспечения надежности на этапе эксплуатации оборудования. При этом источником опасностей являются особенности организации выполнения ремонтных работ. Это делает актуальной задачу проведения аналогичных исследований в России, а также изучения причинных связей видов организации ремонтов с инцидентами. В настоящее время отечественных исследований и практических наработок в данной области не выявлено.

Коренными причинами инцидентов являются недостатки системы технической эксплуатации, отношение руководства к тому или иному аспекту организации технического обслуживания и ремонта оборудования. Поэтому актуальным представляется применение показателей, характеризующих процессы обеспечения надежности оборудования, в качестве критериев риска и показателей в области безопасности труда и охраны здоровья. Мониторинг этих показателей с помощью информационной системы и меры по их улучшению позволят предупреждать травмы и нанесение ущерба здоровью работников, а также обеспечивать безопасные условия на рабочих местах посредством совершенствования процессов технического обслуживания и ремонта, выявления и устранения коренных причин инцидентов.

Список литературы

1. *ГОСТ Р ИСО 45001—2020.* Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования и руководство по применению. — М.: Стандартинформ, 2020. — 40 с.

2. *ГОСТ Р 27.001—2009.* Надежность в технике. Система управления надежностью. Основные положения. — М.: Стандартинформ, 2010. — 12 с.

3. *ГОСТ Р 27.101—2021.* Надежность в технике. Надежность выполнения задания и управление непрерывностью деятельности. Термины и определения. — М.: Российский институт стандартизации, 2021. — 20 с.

4. *Назарычев А.Н.* Совершенствование системы ремонтов электрооборудования электростанций и подстанций с учетом технического состояния: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2005. 390 с.

5. *Моубрэй Дж.* Техническое обслуживание, ориентированное на надежность. Екатеринбург: Зырянов К.А., 2018. 443 с.

6. *Ignizio J.P.* The Waddington Effect, C^{4}U-Compliance, and Subsequent Impact on Force Readiness. URL: https://cmapspublic.ihmc.us/rid=1HTKPYHY3-10D9MZ0-11ML/ (дата обращения: 01.10.2023).

7. *ГОСТ Р 55.0.05—2016.* Управление активами. Повышение безопасности и надежности активов. Требования. — М.: Стандартинформ, 2016. — 10 с.

8. *ГОСТ Р 57329—2016.* Системы промышленной автоматизации и интеграция. Системы технического обслуживания и ремонта. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2016. — 24 с.

9. *Blache K.M.* Reliability and Safety Inseparable. URL: https://www.efficientplantmag.com/2019/01/reliability-and-safety-inseparable/ (дата обращения 01.10.2023).

10. *Moore R.* A Reliable Plant is a Safe Plant is a Cost-Effective Plant. URL: https://www.lce.com/resources/a-reliable-plant-is-a-safe-plant-is-a-cost-effective-plant/ (дата обращения 01.10.2023).

11. *Latino R.* Is There a Direct Correlation Between Reliability & Safety?: URL: https://exchange.smrp.org/blogs/robert-latino/2019/01/23/is-there-a-direct-correlation-between-reliability (дата обращения 01.10.2023).

12. *Мониторинг* условий и охраны труда. URL: https://eisot.rosmintrud.ru/monitoring-uslovij-i-okhrany-truda (дата обращения 01.10.2023).

13. *Thomas D.S., Weiss B.A.* Economics of Manufacturing Machinery Maintenance. A Survey and Analysis of U.S. Costs and Benefits. URL: https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ams/NIST.AMS.100-34.pdf (дата обращения 01.10.2023).

14. *Maintenance* and operations: Is asset productivity broken? URL: https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/maintenance-and-operations-is-asset-productivity-broken (дата обращения 01.10.2023).

15. *Industrial* Maintenance. 2022 Status, Trends & Technology Report. URL: https://www.advancedtech.com/wp-content/uploads/2022/06/2022-State-of-Industrial-Maintenance-Report_eBook.pdf (дата обращения 01.10.2023).

16. *ГОСТ 18322—2016.* Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2017. — 16 с.

17. *IEC 62740:2015.* Root cause analysis (RCA). Geneva: International Electrotechnical Commission, 2015. 151 p.

18. *The development* history of accident causation models in the past 100 years: 24Model, a more modern accident causation model/ G. Fu, X. Xie, Q. Jia et al.// Process Safety and Environmental Protection. 2020. Vol. 134. P. 47–82. DOI: 10.1016/j.psep.2019.11.027

19. *Troyer D.* Are You Seeking Reliability, Yet Rewarding Failure? URL: https://theramreview.com/are-you-seeking-reliability-yet-rewarding-failure/ (дата обращения 01.10.2023).

20. *Кац Б.А., Антоненко И.Н., Молчанов А.Ю.* Информационные системы управления производственными активами. История, состояние и перспективы. Часть 1// Трубопроводная арматура и оборудование. 2015. № 3(78). С. 74–78.

21. *Кац Б.А., Антоненко И.Н., Молчанов А.Ю.* Информационные системы управления производственными активами. История, состояние и перспективы. Часть 2// Трубопроводная арматура и оборудование. 2015. № 4 (79). С. 56–61.

22. *Антоненко И.Н.* Бережливое техническое обслуживание: основные подходы и методы реализации// Молочная промышленность. 2021. № 8. С. 20–25. DOI: 10.31515/1019-8946-2021-08-20-24

23. *Антоненко И.Н.* Критерии формирования ключевых показателей эффективности ТОиР//Генеральный директор. Управление промышленным предприятием. 2022. №11. С. 10-19.

24. *Imam S.F., Raza J, Ratnayake R.M.C.* World Class Maintenance (WCM): Measurable indicators creating Opportunities for the Norwegian Oil and Gas industry// 2013 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. IEEE, 2014. P. 1479–1483. DOI: 10.1109/IEEM.2013.6962656

E-mail: antonenko@spectec.ru

Материал поступил в редакцию/ Received 02.10.2023
После рецензирования/ Revised 23.11.2023
Принят к публикации/ Accepted 30.11.2023

По страницам научно-технических журналов декабрь 2023 г.

Пожаровзрывобезопасность
(научно-технический журнал)

Корольченко А.Д. Экспериментальное определение устойчивости сборных металлических конструкций к взрывным нагрузкам. 2023. Т. 32. № 3. С. 9–16.

Разработана методика испытаний по определению устойчивости сборных металлических конструкций к воздействию дефлаграционного взрыва газопаровоздушной смеси. Установлено, что сборная металлическая конструкция, состоящая из стеновых сэндвич-панелей и металлического каркаса, может быть использована в качестве взрывоустойчивого защитного ограждения на производственных объектах при расчете взрывных нагрузок. Предложено несколько вариантов повышения устойчивости конструкции к воздействию дефлаграционного взрыва.

Харламенков А.С. Современные способы тушения литий-ионных аккумуляторов. Ч. 3. 2023. Т. 32. № 3. С. 93–98.

Представлены статистические данные, отражающие состояние парка электромобилей в России. Проведено обобщение основных характеристик аккумуляторных блоков наиболее популярных моделей электромобилей в стране. Выполнен анализ существующих мер по обеспечению безопасной эксплуатации тяговых аккумуляторных батарей, снижающих опасность их механического повреждения и теплового разгона. Рассмотрены результаты отдельных зарубежных публикаций по моделированию горения и натурным огневым испытаниям электромобилей в помещениях и открытых пространствах. Даны рекомендации по разработке необходимых мероприятий по организации тушения пожаров с участием электромобилей.

Шебеко Ю.Н. Особенности поведения резервуаров со сжиженным природным газом (СПГ) в очаге пожара. 2023. Т. 32. № 3. С. 31–41.

Проведено обоснование важности исследований поведения резервуаров с СПГ в очаге пожара. Отмечен наиболее опасный режим разрушения таких резервуаров — BLEVE (boiling liquid expanding vapor explosion — взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости). Проанализированы исследования, в которых изучены параметры огненного шара (диаметр, длительность существования, высота подъема, интенсивность теплового излучения) на резервуарах СПГ объемом до 5 м^3. Показано, что основные закономерности аварий на резервуарах СПГ, протекающих в режиме BLEVE с образованием огненных шаров, во многом аналогичны имеющим место в случае резервуаров со сжиженными углеводородными газами (СУГ), но при этом поверхностная плотность теплового потока огненного шара СПГ (около 500 кВт/м^2) существенно выше, чем для СУГ.

Харламенков А.С. Современные способы тушения литий-ионных аккумуляторов. Ч. 4. 2023. Т. 32. № 4. С. 86–90.

Представлены статистические данные, отражающие состояние парка электромобилей в России. Дано описание основных сложностей, возникающих у подразделений пожарной охраны при тушении тяговых литий-ионных батарей электромобилей. Выполнен анализ существующих систем пожаротушения электромобилей, успешно применяемых в ряде зарубежных стран. Показана техническая возможность проведения эффективного тушения аккумуляторного блока с помощью воды при ее подаче непосредственно во внутреннее пространство батареи. Рассмотрены способы обеспечения пожарной безопасности в случае повторного возгорания аккумулятора электромобиля с выполнением полного погружения последнего в емкость с водой, а также покрытия кузова противопожарным полотном.