

УДК 621.182

## УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОВОЙ КОТЕЛЬНОЙ

**Анищенко Ю.В., Понушкова К.А.**

*ФГАОУ ВО «Томский политехнический университет» (Национальный исследовательский университет), Томск, e-mail: ajv@tpu.ru, e-mail: kap17@tpu.ru*

Статья посвящена изучению факторов риска при эксплуатации газовой котельной и разработке мероприятий по уменьшению риска аварийных ситуаций. В данной статье идентифицированы опасности сети газопотребления в котельном хозяйстве. Был проведен анализ возможных потенциальных сценариев развития аварийных ситуаций. Для сценария, связанного с разгерметизацией газопровода, были изучены причины, способные вызвать разгерметизацию газопровода и возможные последствия. Для анализа мер по управлению риском аварийной ситуации был использован метод «галстук-бабочка». На основании построенной диаграммы «галстук-бабочка» были проанализированы существующие барьеры, направленные как на снижение вероятности разгерметизации газопровода, так и на уменьшение тяжести последствий в случае ее реализации, и предложены дополнительные меры по повышению безопасности. Риск разгерметизации газопровода можно уменьшить за счет проведения различных мероприятий, которые позволят в том числе сократить влияние человеческого фактора. Для определения наиболее эффективных мероприятий был использован метод экспертных оценок. Наиболее значимыми мероприятиями, которые могут дополнительно уменьшить риск разгерметизации газопровода, являются модернизация оборудования, а также повышение надежности персонала за счет более эффективного обучения и мотивации на безопасную работу.

**Ключевые слова:** управление риском, котельная, сеть газопотребления, разгерметизация газопровода, барьеры безопасности, человеческий фактор

## RISK MANAGEMENT OF GAS BOILER HOUSE

**Anishchenko Y.V., Ponushkova K.A.**

*Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education Tomsk Polytechnic University (National Research University), Tomsk, e-mail: ajv@tpu.ru, kap17@tpu.ru*

This article is aimed at risk factors of a gas boiler operation and the development of measures to reduce the risk of accidents. This article identifies the hazards of the gas consumption network at the boiler house. An analysis of potential scenarios for possible an emergency was carried out and the gas pipeline depressurization was selected for further study. The causes of the pipeline depressurization and the possible consequences have been studied. The «bow-tie» method was used to analyze accident risk management measures. The constructed diagram «tie-butterfly» allowed to analyze the existing barriers, aimed both at reducing the probability of the gas pipeline depressurization, and at reducing the severity of consequences, and to suggest additional barriers. The risk of the gas pipeline depressurization can be reduced by various measures, including eliminating human factor. Expert judgement was used to determine the most effective measures. The processing of the experts results showed consistency of opinion among the experts. The most important measures that can further reduce the risk of gas pipeline depressurization are the modernization of equipment, as well as the improvement of the reliability of personnel through more effective training and motivation for safe work.

**Keywords:** risk management, boiler house, gas network, gas pipeline depressurization, barriers, human factor

Во многих отраслях для производства тепла используются собственные котельные, которые могут быть источником опасности для персонала, других производственных объектов, окружающей среды. Газовые котельные классифицируют как опасный производственный объект в соответствии с требованиями федерального законодательства [1] по признаку использования оборудования, работающего под избыточным давлением более 0,07 МПа, а также из-за наличия газа во внутренних системах газоснабжения котельной.

Для идентификации реальных и потенциальных опасностей и предотвращения возникновения происшествий современные системы управления охраной труда и промышленной безопасностью в организациях в соответствии с требованиями федерального законодательства [1; 2] и рекомен-

дациями стандарта [3] предусматривают проведение процедуры оценки риска. Риск-ориентированный подход в вопросах безопасности позволяет идентифицировать все риски, определить их уровень, а управленческие решения принимать в первую очередь в отношении опасностей с наиболее высоким уровнем риска. При разработке мероприятий по снижению риска важным этапом является понимание причин возникновения опасностей. Помимо причин организационного и технического характера, значительный вклад в безопасность объектов газового хозяйства вносит человеческий фактор [4]. Так, по данным, приведенным в [5] относительно объектов газораспределения и газопотребления, более половины (65%) от общего количества аварий связано с коррозионным, механическим и другими повреждениями газопроводов, а 13% связа-

ны с ошибочными действиями персонала. В настоящее время организации в первую очередь выполняют законодательно установленные требования по обеспечению безопасности. Проведение дополнительных мероприятий, направленных на снижение влияния человеческого фактора, не регламентируется, поэтому руководители определяют политику в отношении реализации таких мероприятий.

Цель исследования данной работы – провести анализ опасностей, создаваемых при эксплуатации сети газопотребления котельного хозяйства, и разработать мероприятия по уменьшению риска возникновения аварийных ситуаций и несчастных случаев, в том числе по сокращению влияния человеческого фактора.

### Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования в данной работе выбрана сеть газопотребления котельного хозяйства, находящаяся на территории производственного объекта, который эксплуатируется с 1994 года. Сеть газопотребления является опасным производственным объектом (ОПО) III класса опасности [1]. Котельная предназначена для производства насыщенного пара  $P_{\text{наб}} = 1,6$  МПа. Пар образуется методом испарения котловой воды при сгорании природного газа в топках котлов марок КЕ 25/24С и ДКВР 20/23. Проектная мощность 65 т/ч пара с избыточным давлением 1,57 МПа. Таким образом, сеть газопотребления согласно [1] является опасным производственным объектом (ОПО) III класса опасности.

В состав рассматриваемой сети газопотребления входят подземный газопровод, наружный надземный газопровод, газораспределительный пункт, внутрицеховой газопровод котельной, котельные агрегаты, трубопровод пара (паропровод), экономайзеры чугунные.

При идентификации возможных опасностей было выявлено, что основными источниками опасности являются оборудование, работающее под давлением, природный газ, а также возможные ошибочные действия персонала. Возможными последствиями могут стать разрушение оборудования и сооружений, травмирование людей тепловым излучением и (или) ударной волной, а также токсическое воздействие на окружающую среду и персонал.

К негативным последствиям может привести реализация следующих сценариев: разгерметизация наружного надземного газопровода, находящегося до газораспределительного пункта; разгерметизация оборудования с выбросом газа в произ-

водственное помещение газораспределительного пункта; разгерметизация внутрицехового газопровода с выбросом в производственное помещение; разгерметизация труб на экономайзере; разгерметизация трубопровода питательной линии; разгерметизация паропровода с последующим взрывом и (или) пожаром.

Для дальнейшего детального исследования был выбран сценарий, связанный с разгерметизацией наружного надземного газопровода, т.к. при его реализации возможна остановка технологического процесса вплоть до перевода на резервное топливо. Реализация данного сценария может привести к выбросу природного газа в атмосферу с последующим пожаром и (или) взрывом при наличии источника зажигания.

Риск разгерметизации газопровода можно определить как произведение вероятности разгерметизации и тяжести возможных последствий. На основе такого понимания риска реализуются две стратегии по управлению риском: предупреждение (профилактика) возникновения события и снижение последствий. Перед разработкой мероприятий по управлению риском в котельном хозяйстве необходимо проанализировать существующие меры управления (в том числе обязательные для исполнения в соответствии с законодательными требованиями), а также учесть результаты расследований происшествий на подобных объектах [6].

При помощи графического представления причин и следствий с применением диаграммы «галстук-бабочка» определим меры по управлению риском на выбранном участке. Выбор метода оценки риска путем построения диаграммы «галстук-бабочка» обусловлен тем, что данное исследование направлено на качественную оценку риска разгерметизации трубопровода. Метод является относительно простым для понимания, не требующим большого объема исходной информации и временных затрат; позволяет оценить риски, которые могут возникнуть в краткосрочной перспективе, чтобы своевременно их снижать. Диаграмма «галстук-бабочка» структурировано и наглядно представляет событие, его причины и последствия, показывает пути развития опасного события от причин до последствий, а основное внимание уделяется элементам управления (барьерам), которые должны быть установлены, их достаточности. Барьером является мероприятие по управлению риском, предназначенное для предупреждения опасного события, прекращения распространения опасного события или уменьшения тяжести последствий [7; 8]. Особое внимание при разра-

ботке барьеров уделяется совершенствованию методик работы с персоналом, так как происшествия на опасных производственных объектах происходят в том числе и при совершении опасных действий персоналом [9].

Диаграмма показывает причины возникновения разгерметизации наружного надземного газопровода, возможные последствия, а также барьеры, которые должны снизить вероятность разгерметизации и тяжесть последствий (рис. 1). На рис. 1 представлено две группы барьеров: действующие в котельном хозяйстве на момент проведения исследования и разработанные для дополнительного снижения риска разгерметизации газопровода. Действующие барьеры изображены на рис. 1 черным цветом, а разработанные барьеры – белым.

Факторами эскалации для барьеров (1), (18) могут стать отсутствие планирования

обучения; для барьера (2) – непонятные работникам инструкции, отсутствие мотивации на безопасную работу; для барьеров (5), (6), (9), (14) – отсутствие планирования проведения работ; отсутствие финансирования; для барьера (12) – непонятные работникам требования технологического регламента; отсутствие мотивации на безопасную работу; для барьера (3) – отказ системы пропускного режима на предприятии, для барьера (16) – отказ задвижки; несвоевременное реагирование оператора при необходимости отключения газа; для барьера (19) – нарушение требований пожарной безопасности работниками.

Контроль факторов эскалации может быть обеспечен своевременным планированием мероприятий, проведением мероприятий по мотивации работников на безопасную работу, разработкой понятных и доступных инструкций и регламентов и др.

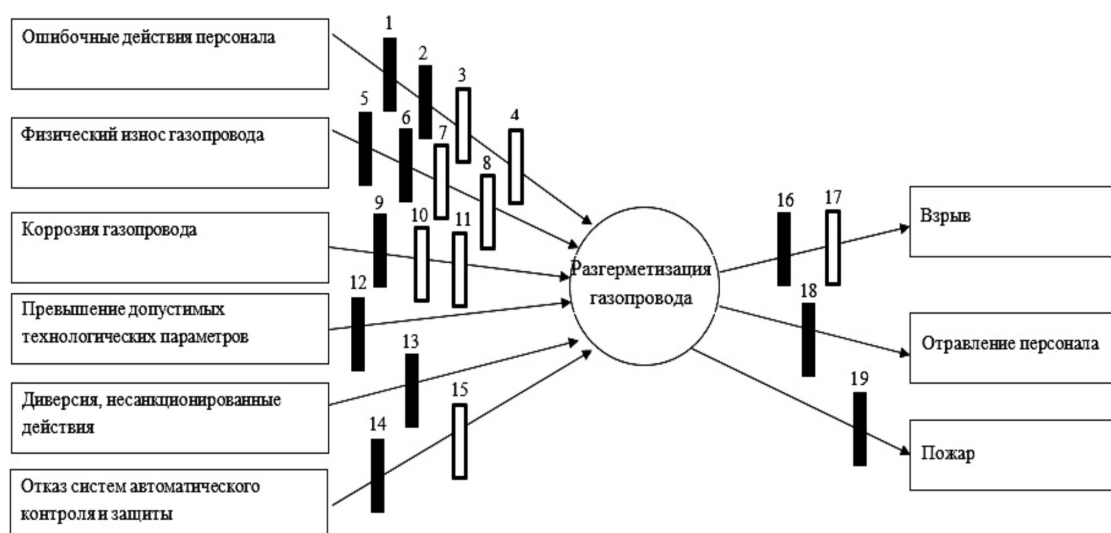


Рис. 1. Диаграмма «галстук-бабочка»

*Действующие барьеры на предприятии:* (1) своевременное обучение работников безопасным методам ведения работ, (2) выполнение работы в соответствии с разработанными инструкциями, (5) ремонтно-профилактические работы, (6) периодические осмотры и комплексные диагностические обследования, (9) оценка технического состояния и устранение дефектов, (12) ведение процессов согласно требованиям технологического регламента, (13) система пропускного режима на предприятии, (14) периодический осмотр и контроль исправности средств управления и контроля, предохранительных устройств, (16) оснащение газопровода ручной задвижкой для отключения подачи газа, (18) обучение персонала навыкам оказания первой помощи, (19) соблюдение требований пожарной безопасности для исключения появления источника зажигания.

*Дополнительно разработанные барьеры для повышения безопасности:* (3) повышение эффективности обучения по охране труда и безопасным методам и приемам выполнения работ, (4) реализация программы коллективной и индивидуальной мотивации, (7) капитальный ремонт участка газораспределительного пункта, (8) модернизация устаревшего оборудования, (10) оснащение трубопроводов современными устройствами для контроля за коррозией, (11) повышение степени ответственности должностных лиц за нарушение порядка контроля коррозионного состояния газопровода, (15) повышение квалификации персонала, проводящего осмотр и обслуживание средств контроля, (17) автоматические средства отключения подачи газа.

Анализ существующих барьеров позволил разработать дополнительные барьеры (3), (4), (7), (8), (10), (11), (15), (17), которые также могут устранить факторы эскалации «непонятные работникам инструкции», «отсутствие мотивации на безопасную работу», «требования технологического регламента не понятны работникам».

### Результаты исследования и их обсуждение

Для определения практической значимости предлагаемых барьеров по обеспечению безопасности котельного хозяйства была проведена оценка эффективности каждого предложенного барьера. Для этого был использован метод экспертных оценок, который предполагает привлечение специалистов в определённой области для предоставления своего мнения относительно поставленного вопроса.

В данной работе группе экспертов было предложено оценить вероятную эффективность предлагаемых барьеров по пятибалльной шкале (очень малая эффективность – 1 балл, малая эффективность – 2, средняя эффективность – 3, большая эффективность – 4, очень большая эффективность – 5 баллов) на основе своих знаний и практического опыта. В качестве экспертов были приглашены работники организа-

ций, имеющие большой опыт в эксплуатации аналогичных объектов.

После получения результатов экспертного опроса следует оценить согласованность мнений экспертов. Обработка полученных данных и оценка согласованности мнений экспертов была проведена в программе StatSoft Statistica 10 Advanced Russian Single User. Для определения согласованности мнений экспертов был выполнен расчет коэффициента конкордации Кендалла [10] и тест Фридмана [10]. Результаты обработки данных показали, что значение коэффициента конкордации Кендалла равно  $r = 0,59$ , что превышает значение  $0,4$  [10]. По полученному коэффициенту конкордации можно сделать вывод о том, что мнение экспертов является согласованным. Результат теста Фридмана ( $p = 0,0044$ ) не превышает значение  $0,05$  [10], следовательно, между ожидаемой эффективностью различных мероприятий наблюдаются статистически значимые отличия.

После этого в программе StatSoft Statistica 10 Advanced Russian Single User был построен график, наглядно представляющий различия мнений экспертов по отдельным барьерам (рис. 2). По горизонтали графика представлены барьеры, относительно которых эксперты предлагали свое мнение, а по вертикали – оценка эффективности мероприятий экспертов по шкале от 1 до 5.

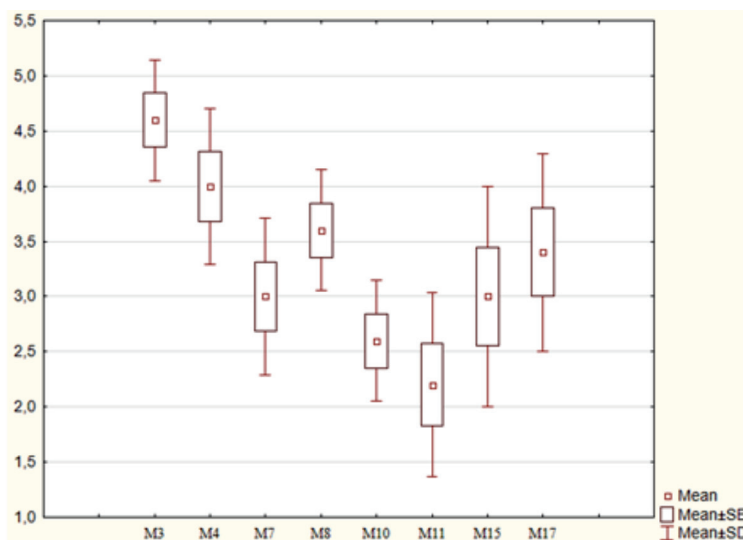


Рис. 2. Фрагмент окна программы StatSoft Statistica 10 Advanced Russian Single User «Графическое представление результатов экспертной оценки»

M3 – повышение эффективности обучения по охране труда и безопасным методам и приемам работ, M4 – реализация программы коллективной и индивидуальной мотивации, M7 – капитальный ремонт участков газораспределительного пункта, M8 – модернизация устаревшего оборудования, M10 – оснащение трубопроводов современными устройствами для контроля за коррозией, M11 – повышение степени ответственности должностных лиц за нарушение порядка контроля коррозионного состояния газопровода, M15 – повышение квалификации персонала, проводящего осмотр средств контроля, M17 – автоматические средства отключения подачи газа, Mean  $\pm$  SE – стандартное отклонение, Mean  $\pm$  SD – дисперсия.

Исходя из значений Mean по каждому мероприятию, можно определить наиболее и наименее эффективные мероприятия по мнению экспертов. В группу большой эффективности вошли мероприятия М3, М4 и М8, к малоэффективным мероприятиям эксперты отнесли М10, М11.

По величине стандартного отклонения можно определить дисперсию, т.е. на какую величину в среднем отклоняются ответы экспертов от среднего значения эффективности мероприятий. Так, можно отметить, что относительно мероприятий М3, М8 и М10 мнения экспертов были наиболее согласованы, тогда как о мероприятиях М15, М17 мнения экспертов были наименее согласованы. Ответы экспертов относительно эффективности мероприятий М11, М15 и М17 имеют наибольшую неоднородность, а для мероприятий М3, М8 и М10 – наименьшую разнородность и соответственно наибольшую согласованность.

Таким образом, для уменьшения риска аварии на выбранном участке в первую очередь необходимо проводить мероприятия М3, М4 и М8. Котельное хозяйство функционирует с 1994 года, а модернизация оборудования и мероприятия по снижению влияния человеческого фактора не реализуются и могут быть рассмотрены как своевременные меры.

В данной работе проводилась качественная оценка эффективности мероприятий, однако при наличии статистической информации о частоте или вероятности последствий и причин разгерметизации газопровода может быть проведена количественная оценка риска с помощью дополнительных методов (например, дерево отказов, дерево событий). Тогда эффективность мероприятий может быть оценена при известной стоимости проведения существующих и предложенных мероприятий.

Предложенные барьеры по снижению влияния человеческого фактора могут быть реализованы с помощью различных инструментов:

– применение технологий виртуальной реальности – использование очков виртуальной реальности позволит сотруднику в смоделированной обстановке пройти курс обучения по безопасной работе с оборудованием и отработать безопасные действия. Такой инструмент также повышает информированность о возможных опасностях при выполнении работ, в том числе за счет демонстрации возможных последствий в случае нарушения требований безопасности;

– вовлекаемые инструктажи – традиционные формы проведения инструктажа

часто малоэффективны и не позволяют работнику понять все опасности, с которыми он может столкнуться при выполнении работ. Решением данной проблемы может стать проведение вовлекающих инструктажей, когда работник не только слушает информацию, а сам принимает активное участие в обучении (отвечает на вопросы, приводит примеры и др.);

– программа коллективной и индивидуальной мотивации – повышение внутренней мотивации работников за счет материального и нематериального поощрения безопасной работы (конкурсы «Лучшее подразделение/Лидер по охране труда», премиальное вознаграждение, расширение корпоративного социального пакета, благодарственные письма), а также система штрафов за нарушение требований безопасности.

### Заключение

В данной работе для уменьшения риска аварийной ситуации на участке сети газопотребления котельного хозяйства были определены возможные опасные события. С помощью графического представления причин и следствий с применением диаграммы «галстук-бабочка» были проанализированы существующие меры, направленные на снижение вероятности разгерметизации газопровода и уменьшения тяжести последствий, а также предложены дополнительные мероприятия. Для оценки эффективности предложенных мероприятий проводился опрос экспертов. Обработка результатов опроса показала согласованность суждений экспертов. По мнению экспертов, для обеспечения безопасности необходимо своевременно проводить модернизацию устаревшего оборудования, а также снижать влияние человеческого фактора. Реализация предложенных мероприятий повысит уровень осведомленности о потенциальных опасностях на рабочем месте, заинтересованности работников в безопасной работе и ответственности за совершение опасных действий.

### Список литературы

1. Федеральный закон Российской Федерации от 20.06.1997 № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» // Российская газета. 27 февраля 2017 г.
2. Федеральный закон от 30 декабря 2001 года № 197-ФЗ «Трудовой кодекс» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/12125268/> (дата обращения: 01.12.2021).
3. ГОСТ Р ИСО 45001:2020 Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования и руководства по применению. М.: Стандартинформ, 2020. 40 с.
4. Juan C. Ramirez, Mark Fecke, Delmar Trey Morrison, John D. Martens. Root Cause Analysis of an Industrial Boiler Explosion (and How Hazard Analysis Could Have Prevented It).

Proceedings ASME 2010 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. 2012. P. 393–397. DOI: 10.1115/IMECE2010-37944.

4. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gosnadzor.ru> (дата обращения: 18.11.2021).

5. James McNay, Romanas Puisa, Dracos Vassalos. Analysis of effectiveness of fire safety in machinery spaces. *Fire Safety Journal*. 2019. Vol. 108. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.102859.

6. ГОСТ Р 58771–2019. Менеджмент риска. Технологии оценки риска. М.: Стандаргинформ, 2020. 90 с.

7. Antonis Targoutzidis Targoutzidis. Incorporating human factors into a simplified «bow-tie» approach for workplace risk assessment. *Safety Science*. 2010. Vol. 48. Issue 2. P. 145–156. DOI: 10.1016/j.ssci.2009.07.005.

8. Андрусов В.Э., Николайкин Н.И., Шаров В.Д. Эволюция учета влияния ошибок человека на особенности и результаты коллективной работы // *CredeExperto: транспорт, общество, образование, язык*. 2019. № 1 (20). С. 8–40.

9. Вуколов Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL. М.: Форум: НИЦ Инфра-М, 2013. 464 с.