

## Барьеры безопасности: понятие, классификация, концепции



**И.С. Жуков,**  
науч. сотрудник,  
ilzhukov@safety.ru

Автономная некоммерческая организация «Агентство исследований промышленных рисков», Москва, Россия

Проанализирована литература в области промышленной безопасности, посвященная барьерам безопасности. Показана история возникновения концепции барьеров безопасности. Приведены ключевые понятия: барьер безопасности, барьерная функция, барьерная система, пассивные и активные барьеры безопасности, а также основные, наиболее распространенные способы классификации барьеров безопасности. На примере барьеров безопасности, применяемых для магистральных нефтепроводов, показаны различия в существующих подходах к их классификации. Приведен краткий сравнительный анализ российских и зарубежных методик, использующих концепцию барьеров безопасности.

**Ключевые слова:** анализ риска, барьеры безопасности, барьерная функция, барьерная система, безопасность функциональная, безопасность системная, методы и средства защиты, классификация.

DOI: 10.24000/0409-2961-2017-5-49-56

### Введение

Термин «барьер безопасности» непосредственно связан с методом построения диаграмм по типу «галстук-бабочка», которые впервые появились в лекциях по анализу опасностей (HAZAN) Квинслендского университета (Австралия) в 1979 г., но достоверные сведения о возникновении данного метода отсутствуют [1]. Следующим толчком к развитию метода послужила авария на платформе Пайпер Альфа в 1988 г., по итогам которой сделан вывод о том, что понимание опасностей и рисков, сопутствующих работе платформы, было недостаточным, необходимы более глубокое понимание причинно-следственных связей независимых на первый взгляд друг от друга условий и событий, а также разработка системного подхода к контролю и управлению подобными опасностями [1, 2].

Также к 1988 г. относится одно из первых упоминаний термина «барьер» как концепции, применяемой для анализа риска и оценки безопасности оружейных систем [3]. В данном контексте под термином «барьер» понимались «оборудование, устройства, сооружения или правила, способные остановить развитие аварии или инцидента». По своим функциональным особенностям «барьеры» были разделены на активные, пассивные и процедурные.

В 1990-х годах Royal Dutch Shell Group адаптировала метод «галстук-бабочка» как стандарт компании в области анализа и управления рисками, что послужило началом широкого применения данного метода [1, 4]. Получившаяся модель «галстук-бабочка» включала в себя большое число барьеров, что давало ложное впечатление об уровне безопасности. На практике большинство барьеров оказа-

лось неэффективным при возникновении реальной угрозы, оставаясь при этом таковым «на бумаге» с точки зрения формальных процедур. Это послужило причиной разработки набора правил использования барьеров, который позволял бы достоверно имитировать системы защиты объекта [4].

В русскоязычной литературе одной из первых работ, в которых упоминаются барьеры безопасности, является [5], выполненная в рамках российско-норвежского проекта «Баренц–2020», основной задачей которого была оценка влияния арктических факторов на функциональность барьеров безопасности, а также каким образом это должно отражаться в соответствующих стандартах.

Понятие «барьер безопасности» чаще всего используется в ряде полуколичественных методов анализа риска аварий, связанных с выбросом углеводородов на объектах нефтегазового комплекса [4, 6–8]. Декларируемая цель данных методов — оценить адекватность существующих на объекте технических и организационных методов и средств защиты возможным опасностям.

### Понятие «барьер безопасности»

Термин «барьер безопасности» неразрывно связан с термином «барьерная функция».

Использование концепции барьеров безопасности базируется на систематическом описании различных типов барьерных систем и барьерных функций путем их классификации (в повседневном языке термины «барьер» и «барьерная функция» являются синонимами) [3].

В работе [6], основываясь на анализе предыдущих работ, даются следующие определения:

барьеры безопасности — это физические и (или) нефизические методы и средства, предназначенные

для предотвращения, контроля или смягчения нежелательных событий или несчастных случаев. Эти средства варьируются от единичного технического блока или действия человека до комплексной социотехнической системы;

барьерная функция — это деятельность или действие, направленные на предотвращение, контроль или смягчение нежелательных событий или аварий. Она описывает назначение барьера безопасности (что барьеры безопасности делают для того, чтобы предотвратить, проконтролировать или смягчить нежелательные события или аварии). Успешная реализация барьерной функции оказывает значительное влияние на возникновение и (или) развитие нежелательного события или аварии, а также на его последствия;

барьерная система — это совокупность или множество связанных между собой элементов, которые спроектированы и реализованы для исполнения одной или нескольких барьерных функций. Барьерная система описывает, каким образом барьерная функция реализуется. Если барьерная система работает — барьерная функция реализуется. Барьерная система может иметь несколько барьерных функций. В отдельных случаях одна барьерная функция может осуществляться несколькими барьерными системами. Барьерная система состоит из барьерных элементов или subsystem, которых по отдельности недостаточно для исполнения барьерной функции. Барьерная subsystem может содержать также несколько резервных барьерных элементов. В подобных случаях для исполнения барьерной системой своих функций работа всех барьерных элементов (subsystem) не обязательна. Барьерная система может включать элементы различных типов, например, физические и технические элементы (аппаратные и программные), активируемые оператором или их комбинацией.

В более общем значении барьерная функция — особый способ, с помощью которого барьер достигает своей цели, в то время как барьерной системой можно назвать организационную и (или) физическую структуру, без которой барьерная функция не может быть выполнена [3]. Использование концепции барьеров безопасности должно основываться на систематическом описании различных типов барьерных систем и барьерных функций — на их классификации.

### Классификация барьеров безопасности

Концепция барьеров безопасности включает в себя целую группу методов. В основе каждого из этих методов лежат являющиеся базисом понятия «барьер безопасности», «барьерная функция», «барьерная система», а также классификация барьерных функций и барьерных систем. Часто каждый конкретный метод анализа барьеров безопасности подразумевает свою собственную классификацию барьерных функций и барьерных систем.

Разница между барьерными системами и барьерными функциями использована в качестве основы метода АЕВ (Accident Evolution and Barrier Function — развитие аварии и барьерная функция) [9]. Данная методика представляет развитие аварии как последовательность шагов, относящихся к человеческому фактору (организационной или технической системе). Каждый шаг — отказ или повреждение компонента системы или некорректное выполнение системой своих функций, а барьерная функция применяется в качестве указания, каким образом развитие аварии может быть приостановлено [3, 9].

Согласно [9] методика АЕВ определяет три различных барьерных системы: материальную (физическую), техническую и организационную (человеческий фактор). В [10] установлены несколько иные барьерные системы: человеческая, техническая и организационная (человеческий фактор). Человеческий барьер служит для предотвращения технических сбоев (отказов систем и оборудования). Примером человеческого барьера могут служить проверки оператором состояния системы или устройства перед началом использования. Технические барьеры служат для предотвращения ошибок персонала, например, опломбирование запорной арматуры в определенном положении. Пример организационного барьера — выдача рабочих инструкций, приказов, разрешений.

Методика MORT (Management Oversight and Risk Tree — административный контроль и дерево рисков) [11, 12] разделяет понятия «барьер безопасности» (средства индивидуальной и коллективной защиты, поручни, план мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий и т.д.) и «барьер управления» (технологические инструкции и регламенты, профессиональная подготовка и переподготовка и т.д.). Согласно данной методике барьеры безопасности направлены на три основные цели: предотвращение, управление, минимизация. Методика MORT различает несколько типов барьеров: физические, конструкция оборудования, устройства предупреждения (сигнализация), процедуры (рабочие процессы), знания и навыки, наблюдение.

В методике АЕВ [9] классификация барьеров основывалась на выполняемой ими функции, цели (предотвращение аварии, уменьшение ее последствия и т.д.). Методика MORT [11, 12] в основу классификации барьеров безопасности ставит их расположение в системе. В соответствии с данным принципом барьер может располагаться на источнике энергии (между источником энергии и работником) или на подвергнутой воздействию цели, на работнике или на цели, также барьер может быть разделен в пространстве и времени. Согласно [3] подобное разделение барьеров в зависимости от их местонахождения применимо только к тем барьерам, которые имеют какое-либо физическое во-

площение, и не может быть основой для более исчерпывающей классификации. Поэтому в [3] предлагается следующая классификация барьеров, основанная на их природе.

**Материальные или физические.** Эти барьеры физически предотвращают совершение или реализацию действия или события, тем самым соответствуют физическим барьерам в анализе MORT. Материальные или физические барьеры могут также блокировать или смягчать эффект от нежелательных событий.

**Функциональные (активные или динамические).** Функциональный барьер препятствует совершению действия, например, с помощью установки логической или временной блокировки. Функциональный барьер эффективно устанавливает одно или несколько предварительных условий, с которыми придется иметь дело до выполнения действия. Эти предварительные условия не требуют интерпретации человеком, они могут запрашиваться или восприниматься самой системой. Функциональные барьеры относятся к типам «конструкция оборудования» и «наблюдение», предложенным методом MORT.

**Символьные.** Определяющая характеристика символьного барьера — для достижения своей цели он требует интерпретации человеком. Все виды знаков и сигналов являются символьными барьерами, особенно видимые и слышимые сигналы.

**Нематериальные.** Это последний класс барьеров согласно [3]. Они обычно имеют форму в виде книги или пояснительной записки, инструкции, но часто не представлены физически, когда их использование обязательно. Типичные нематериальные барьеры: правила, руководящие принципы, принципы безопасности (культура безопасности), ограничения и законы. В контексте производства нематериальные барьеры в большой степени идентичны организационным барьерам.

Данный принцип классификации барьеров безопасности идентичен предлагаемому в модели АЕВ [9] и является его более поздней вариацией.

В работе [6] приводится более подробный обзор различных методов классификации барьеров безопасности, большинство из которых основаны на разделении барьеров безопасности на три типа по своему функциональному назначению: «предотвратить», «управлять (контролировать)» и «смягчить последствия». Согласно [6, 7] наиболее детальная классификация барьеров безопасности, основанная на данном принципе, предлагается методом ARAMIS [8]. В отличие от большинства других методов, ARAMIS различает основные барьерные функции<sup>1</sup>:

избежать (сделать потенциально опасное событие невозможным);

препятствовать (затормозить потенциально опасное развитие событий, поместить на пути развития событий препятствие);

управлять (обнаружить потенциально опасное событие и вернуть систему назад в безопасное состояние);

ограничить, уменьшить или смягчить (обнаружить потенциально опасное событие и ограничить его во времени и (или) пространстве, уменьшить его масштаб или смягчить воздействия опасного явления на оборудование, человека и окружающую среду).

В методике ARAMIS барьерная функция, направленная на предотвращение и недопущение возникновения и развития потенциально опасного события, представлена двумя функциями: непосредственно «избежать» и «препятствовать», тогда как в методах, рассмотренных в [6], две эти функции по причине аналогичности и идентичности их целей объединены в одну — «предотвратить».

Согласно методике ARAMIS выделяют четыре барьерные системы<sup>1</sup>:

**пассивные барьеры.** Постоянно функционируют и не требуют действий оператора, источника энергии и информации. Они могут быть физическими (обвалование, стены и т.д.), постоянными (система предотвращения коррозии) или изначально безопасными конструкциями;

**активируемые барьеры.** Они устанавливают предварительные условия, необходимые для совершения действия. Таким образом, для срабатывания данные барьеры должны быть автоматическими или активируемыми вручную. Эти барьеры могут быть механическими, которые требуется активировать для исполнения их функции (аппаратные). Активируемым барьерам всегда требуется последовательность «обнаружение — оценка — действие». Данная последовательность может быть реализована с использованием аппаратных, программных и (или) человеческих действий;

**действия человека.** Эффективность этих барьеров основывается на знаниях оператора. Действие человека в данном случае необходимо понимать в широком смысле, включая наблюдение с использованием всех чувств, общение, мышление, физическую активность, а также законы, рекомендации, нормы и правила, инструкции по безопасности и т.п. Действие человека может являться частью последовательности «обнаружение — оценка — действие»;

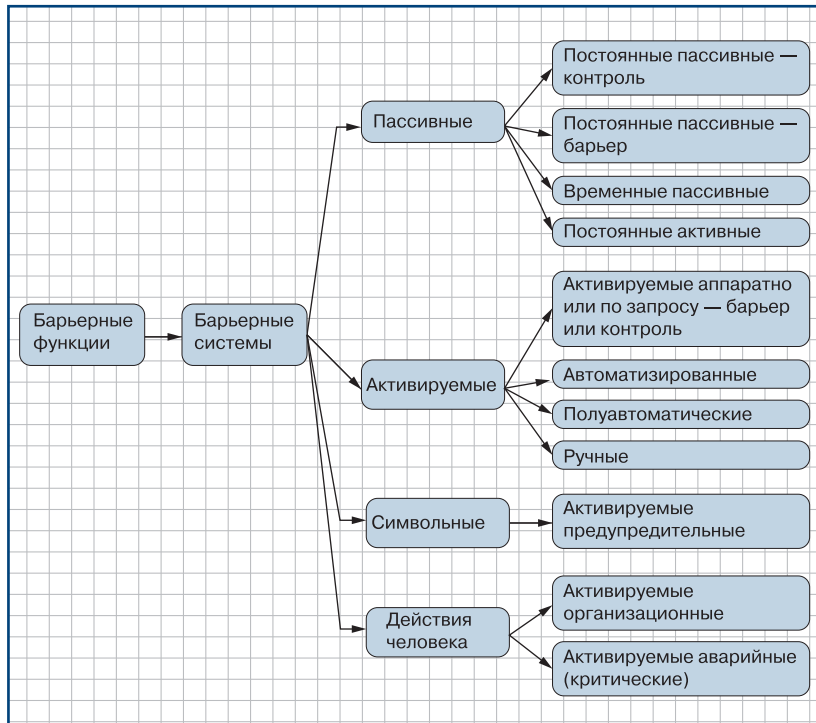
**символьные барьеры.** Данные барьеры для достижения своих целей требуют интерпретации человеком. Типичными примерами могут быть пассивные

<sup>1</sup> В методе ARAMIS вместо термина «барьерная функция» применяется термин «функция безопасности», полностью совпадающий с ним по смыслу. В статье для единообразия используется термин «барьерная функция».

<sup>1</sup> В методе ARAMIS в данном случае применен термин «категория барьера безопасности», являющийся по своей сути его аналогом. В статье для единообразия, используется термин «барьерная система».

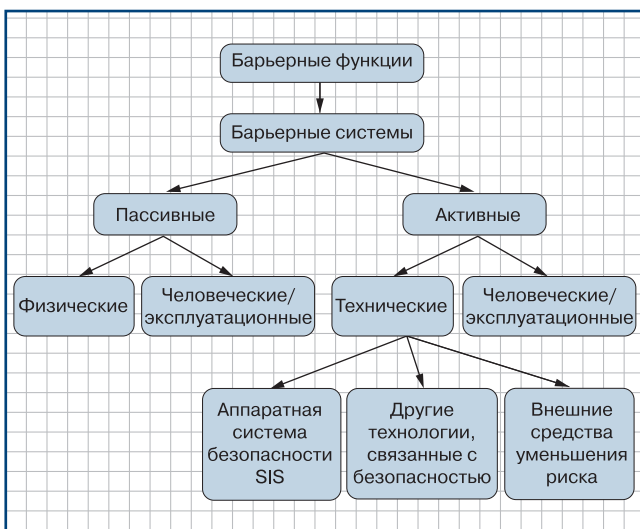
предупреждения, например, запрет на нахождение в определенных местах, открытие опломбированного оборудования, запрет на курение и т.п.

В соответствии с выделенными типами барьерных систем метод ARAMIS различает 11 различных типов барьеров (рис. 1), основанных на компонентах (аппаратный, программный или человеческое действие), включенных в последовательность «обнаружение — оценка — действие».



▲ Рис. 1. Классификация барьеров безопасности согласно ARAMIS

На основе анализа различных литературных источников и методов классификации барьеров безопасности, описанных выше, авторы в [6] предлагают свой способ их классификации, приведенный на рис. 2.



▲ Рис. 2. Классификация барьеров безопасности в соответствии с работой [6]

Некоторые барьеры безопасности выполняют барьерную функцию самим фактом присутствия своих элементов (например, обвалование). Такие барьеры называются пассивными. Другие барьеры выполняют действие в ответ на текущее состояние или условие (например, клапан — регулятор давления), они называются активными. Для активных барьеров всегда характерна последовательность «обнаружение — оценка — действие». Большинство активных барьеров безопасности включают несколько компонентов или элементов для выполнения барьерной функции (рис. 3)<sup>1</sup> [6, 7].

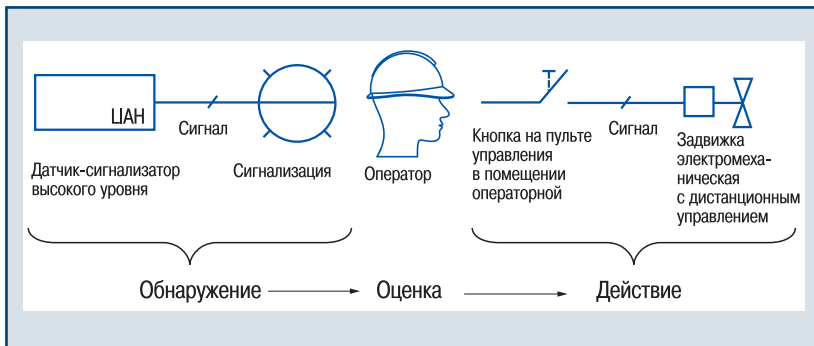
Сравнивая данный способ классификации барьеров безопасности с предлагаемым методикой ARAMIS, нетрудно заметить, что в [6] рассматриваются только два типа барьерных систем: «пассивные» и «активные», последние включают в себя «активируемые», «символьные» и «человеческие» барьерные системы, рассмотренные в методе ARAMIS. Подобный подход выглядит логичным и оправданным, так как и «символьные», и «человеческие» барьерные системы (объединенные в одну «человеческую (эксплуатационную)» подсистему [6]) никак не влияют на безопасность просто фактом своего присутствия и выполняют свою функцию только при совершении определенных действий, включая последовательность «обнаружение — оценка — действие», т.е., согласно определению, являются активными барьерными системами.

В [7] авторы отмечают, что идентифицировать технические (физические) барьеры безопасности, как правило, достаточно просто, но в случае, когда барьер безопасности включает в себя действие человека (например, реакция оператора на срабатывание сигнализации), следует быть осторожным и различать само действие, выполняющее барьерную функцию, и факторы, помогающие оператору в принятии правильного решения (технологические инструкции, тренировки, однозначность представления информации и т.п.).

В [4] предлагается несколько отличный подход к классификации барьеров безопасности, основанный на оценке их эффективности в случае возникновения потенциально опасной ситуации. В зависимости от степени эффективности (высокая, средняя, низкая) выделяют следующие типы барьеров безопасности.

<sup>1</sup> Функции оператора может выполнять и программное обеспечение, осуществляя оценку и активируя действие в соответствии с заданным алгоритмом (закон регулирования).





▲ Рис. 3. Пример активного барьера безопасности

*Технические* (высокая эффективность). Могут предотвратить распространение факторов риска, снизить опасность ситуации, смягчить последствия или уменьшить вероятность возникновения факторов риска. Если технический барьер не срабатывает, то угроза передается на другой технический барьер до реализации потенциально опасного события (до достижения инициирующего события). То же самое относится и к дальнейшей эскалации от инициирующего события до последствий. Выделяют следующие подкатегории технических барьеров: технические активные, которые срабатывают по требованию (аварийный отсекающий клапан, дренажная система, аварийная емкость); технические пассивные, функционируют на постоянной основе, исполняют барьерную функцию одним своим присутствием (предохранительный клапан, обвалование, пожаропрочные и взрывонепроницаемые перегородки и т.п.); технические барьеры контроля, которые активируют другие предотвращающие или смягчающие последствия опасного события барьеры (газосигнализаторы, система пожарной сигнализации, система оповещения об аварии и т.д.). Барьеры данного типа не могут предотвратить развитие аварии, но могут активировать другие барьеры, которые это сделают.

*Человеческие* (организационные) (средняя эффективность). Способствуют контролю процесса или деятельности. Данный тип барьеров может уменьшить вероятность инициирующего события путем укрепления других барьеров или предотвращения их ослабления, но в случае, если потенциально опасное событие уже инициировано, то данный тип барьеров, как правило, не может ни предотвратить его развитие, ни уменьшить последствия. Выделяют следующие подкатегории данного типа барьеров: процедурные (инспекции и наблюдения, инструменты контроля, управление процессом, оценка риска работ, система нарядов-допусков и т.п.); человеческие (эксплуатационные) (контроль со стороны оператора, надзор, периодические обходы и т.п.).

*Фундаментальные* (низкая эффективность в непосредственной близости от события). Их действие

разделяется во времени от возникновения угрозы до реализации фактора риска. Тем не менее фундаментальные барьеры вносят чрезвычайно важный и эффективный вклад в обеспечение безопасности системы путем проверок и контроля уязвимых мест системы и исходных причин отказов. Выделяют следующие подкатегории данного типа барьеров: фундаментальные процедурные (анализ проекта, оценка ввода в эксплуатацию, проверка внутреннего распорядка,

анализ эксплуатации, подтверждение квалификации); фундаментальные человеческие (хорошее здоровье рабочих и т.д.).



▲ Рис. 4. Классификация барьеров безопасности в соответствии с работой [4]

Классификация барьеров безопасности в соответствии с [4] приведена на рис. 4.

Кроме того, все типы барьеров безопасности, приведенные на рис. 4, подразделяются на первичные и вторичные. Функции первичных барьеров безопасности: ликвидация, предотвращение, уменьшение, смягчение или управление возникновением и развитием потенциально опасного события, а также эскалации опасности; функции вторичных: предотвращение ослабления, разрушения или падения (отказа) первичных барьеров. То есть вторичные барьеры предназначены для укрепления первичных. Таким образом, к первичным барьерам относятся технические и человеческие (организационные), а ко вторичным — фундаментальные; человеческие (операторные) барьеры относятся как к первичным, так и ко вторичным [4].

Примеры приведенных выше способов классификации для барьеров безопасности, применяемых для магистральных трубопроводов, показаны в таблице.

Барьер безопасности для магистральных нефтепроводов	Тип барьера безопасности в соответствии с HSE [4]	Тип барьера безопасности в соответствии с ARAMIS [8]	Тип барьера по классификации проф. Скелета [6]
Увеличение толщины стенки трубопровода	Технический пассивный барьер	Постоянный пассивный — контроль	Физический пассивный барьер
Увеличение глубины залегания трубопровода	То же	То же	То же
Системы электрохимической защиты	—«—	—«—	—«—
Применение защитного футляра, защитных плит	—«—	—«—	—«—
Обетонирование	—«—	—«—	—«—
Прокладка в тоннеле	—«—	—«—	—«—
Обустройство дополнительных обвалований и защитных стенок	—«—	—«—	—«—
Укрепление грунта (берегов)	—«—	—«—	—«—
Устройство отводящих систем (каналы, канавы)	—«—	—«—	—«—
Задвижки, клапаны	Технический активный барьер	Активируемый механически или по запросу — барьер или контроль Активируемый ручной	Технический активный (safety instrumented system (SIS), другие системы, связанные с безопасностью)
Системы противоаварийной защиты	Технический барьер контроля	Активируемый автоматизированный	Технический активный (SIS)
Технический мониторинг	Организационный человеческий барьер	Действие человека — активируемый организационный	Человеческий активный
Проведение диагностических работ, в том числе с помощью внутритрубных инспекционных снарядов	Организационный процедурный барьер	То же	То же
Предупреждающие знаки	Технический пассивный барьер	Символьный барьер	Человеческий пассивный

## Анализ использования концепции барьеров безопасности в России и за рубежом

В российских нормативно-правовых документах термин «барьеры безопасности» также упоминается [13–20].

В стандарте [16] дано определение слоя защиты, относящееся к методу анализа слоев защиты (LOPA): «Слой защиты (protection layer): самостоятельный механизм, снижающий риск с помощью управления риском, его предотвращения или ослабления».

Данное определение практически идентично данному выше определению барьеров безопасности. Из этого можно сделать вывод, что метод анализа слоев защиты — одна из разновидностей методологии барьеров безопасности. К данному выводу приходят также авторы в работе [6].

В стандарте [18] даны краткое описание и приблизительный алгоритм метода анализа «галстук-бабочка», приведены преимущества и недостатки метода, однако отсутствуют конкретные данные, позволяющие им воспользоваться. В [18] метод анализа «галстук-бабочка» сводится к комбинированию дерева отказов и дерева событий и расстановке на

полученной таким образом диаграмме выделенных барьеров безопасности. Математический аппарат в данном случае полностью повторяет методики дерева отказов и дерева событий. Вопрос классификации барьеров безопасности в [18] не затрагивается. Похожий метод, названный «диаграммы барьеров безопасности», предлагается в [7]. Там авторы на нескольких примерах рассматривают принципы построения диаграмм барьеров безопасности, отмечают особенности данных диаграмм (в том числе небольшое отличие математического и логического аппарата данного метода от методов дерева отказов и дерева событий) и рекомендуют использовать классификацию барьеров безопасности согласно ARAMIS.

В [17, 19] содержится подробное описание, включая математический аппарат и классификацию барьеров безопасности, «методологии идентификации инцидентов существенных угроз» и «методологии идентификации эталонных сценариев инцидентов», однако данные подходы полностью повторяют методику ARAMIS, являясь ее прямым переводом.

Более подробный и значительно усовершенствованный метод анализа «галстук-бабочка» предла-

гается в [4]. В отличие от [18] метод, предлагаемый в [4], позволяет не только получить диаграммы, показывающие основные пути опасных событий и установленные барьеры, но и оценить уровни безопасности объекта, соответствия сложности барьеров безопасности и компетенции персонала, требуемый уровень надзора.

Для оценки опасности и анализа риска аварий, связанных с выбросами углеводородов на нефтегазодобывающих платформах, в [6] предлагается методика, позволяющая учесть существующие на объекте технические и организационные методы и средства защиты (барьеры безопасности) и оценить их функционирование при авариях.

За рубежом имеются и другие концепции применения барьеров безопасности. Например, норвежским Органом по безопасности в нефтяной промышленности требования к основным барьерным функциям закреплены на законодательном уровне, установлен критерий, согласно которому воздействия аварийных или природных нагрузок с вероятностью  $1 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup> и более не должны приводить к потере барьером безопасности основной функции [21]. В [4, 6, 8] приводятся иные критерии функционирования барьеров безопасности, однако этот вопрос выходит за рамки данной статьи и будет рассмотрен отдельно.

### Заключение

Группа методов полуколичественного анализа риска [4, 6–8], использующая понятие «барьеры безопасности», позволяет не только учесть существующие на объекте организационные и технические методы и средства защиты, предназначенные для предотвращения, контроля или смягчения аварий и других нежелательных событий, в процессе анализа риска, но также и оценить их эффективность функционирования. Однако возможность применения данных методик для оценки необходимости и достаточности организационных и технических методов и средств защиты (существующих на объекте и проектируемых) требует более детального рассмотрения, в основе которого должно лежать понимание концепции и терминологии данных методов, а также классификации барьеров безопасности.

Автор благодарит научного сотрудника АНО «Агентство исследования промышленных рисков» А.М. Лисанова за подготовку примеров барьеров безопасности, применяемых для магистральных трубопроводов.

### Список литературы

1. *CGE Risk management solutions*. URL: [www.cgerisk.com/knowledge-base/risk-assessment/the-bowtie-methodology](http://www.cgerisk.com/knowledge-base/risk-assessment/the-bowtie-methodology) (дата обращения: 21.09.2016).
2. *The public injury into Piper Alpha disaster*. — London: HMSO, 1990.
3. *Hollnagel E. Accident Analysis and barrier functions*. — Halden: Institute for Energy Technology, 1999.

4. *Trbojevic V.M. Optimising hazard management by workforce engagement and supervision*. — Liverpool: Health and safety executive, 2008.

5. *Российско-норвежский проект «Баренц–2020»: гармонизация стандартов в области анализа риска/ Б. Пааске, М.В. Лисанов, В.С. Сафонов, А.А. Петрулович // Безопасность труда в промышленности*. — 2011. — № 4. — С. 11–15.

6. *Sklet S. Safety barriers on Oil and Gas Platforms. Means to prevent hydrocarbon releases. Doctoral thesis for the degree of doktor ingeniør*. — Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, 2005.

7. *Duijm N.J., Market F. Safety-barrier diagrams for documenting safety on hydrogen applications*. URL: [https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/safety\\_biblio/ichs2007/4.1.143.pdf](https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/safety_biblio/ichs2007/4.1.143.pdf) (дата обращения: 21.09.2016).

8. *Delvosalle C., Fievez C., Pipart A. Accidental Risk Assessment Methodology For Industries in the context of the Seveso II directive. Deliverable D.1C. WP1*. — Mons: Major Risk Research Centre, 2004.

9. *Svenson O. The accident evolution and barrier function (AEB) model applied to incident analysis in the processing industries// Risk Analysis*. — 1991. — Vol. 11. — Iss. 3. — P. 499–507.

10. *Safety barrier function analysis in a process industry: A nuclear power application/ L.J. Kecklund, A. Edland, P. Wedin, O. Svenson// Industrial Ergonomics*. — 1996. — Vol. 17. — Iss. 3. — P. 275–284.

11. *Knox N.W., Eicher R.W. MORT user's manual*. — Idaho Falls: Idaho National Engineering Laboratory, 1992.

12. *Trost W.A., Nertney R.J. Barrier analysis*. — Idaho Falls: Technical Research and Analysis Center, 1995.

13. *Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта: федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности: приказ Ростехнадзора от 15 июля 2013 г. № 306*. — Сер. 03. — Вып. 73. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2013. — 11 с.

14. *Методические рекомендации по разработке обоснования безопасности опасных производственных объектов нефтегазового комплекса: рук. по безопасности: приказ Ростехнадзора от 30 сент. 2015 г. № 387*. — Сер. 27. — Вып. 14. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2015. — 47 с.

15. *Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах: рук. по безопасности: приказ Ростехнадзора от 11 апр. 2016 г. № 144*. — Сер. 27. — Вып. 16. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. — 53 с.

16. *ГОСТ Р МЭК 61511-1—2011. Безопасность функциональная. Системы безопасности приборные для промышленных процессов. Часть 1. Термины, определения и технические требования*. — М.: Стандартинформ, 2013.

17. *ГОСТ Р 54145—2010. Менеджмент рисков. Руководство по применению организационных мер безопасности и оценки рисков. Общая методология*. — М.: Стандартинформ, 2012.

18. *ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010—2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска*. — М.: Стандартинформ, 2012.

19. *ГОСТ Р 54141—2010. Менеджмент рисков. Руководство по применению организационных мер безопасности*



и оценки рисков. Эталонные сценарии инцидентов. — М.: Стандартиформ, 2012.

20. *СТО Газпром 2-2.3-569—2011*. Методическое руководство по расчету и анализу рисков при эксплуатации объектов производства, хранения и морской транспортировки сжиженного и сжатого природного газа. — М.: ООО «Газпромэкспо», 2011.

21. *Regulations relating to design and outfitting of facilities, etc. In the petroleum activities (the facilities regulations)*// Stavanger: Petroleum Safety Authority Norway, 2015. URL: <http://www.ptil.no/facilities/category400.html#> (дата обращения: 30.03.2017).

ilzhukov@safety.ru

Материал поступил в редакцию 18 апреля 2017 г.

«Bezопасnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2017, № 5, pp. 49–56.  
DOI: 10.24000/0409-2961-2017-5-49-56

Safety Barriers: Notion, Classification, Concepts

#### Information about the Author

I.S. Zhukov, Researcher, ilzhukov@safety.ru  
Autonomous Noncommercial Organization «Industrial Risk Research Agency», Moscow, Russia

#### Abstract

The analysis of literature in the field of industrial safety devoted to safety barriers is provided. The history of occurrence of safety barriers concepts being rooted in the lectures on hazards analysis (HAZAN) of the Queensland University (Australia) where in 1979 the «bow-tie» diagram appeared for the first time is shown in the Article. In 1990s the Royal Dutch Shell Group adapted the «bow-tie» method as the standard of the company in the field of risk analysis and management. As a result the concept of safety barriers was widely adopted. In its essence the safety barriers represent the organizational and technical means of protection used for prevention, control or mitigation of accidents and other unwanted events. The concept of safety barriers found reflection in a number of semiquantitative methods of risk analysis. Their feature — a possibility of impact assessment of the organizational, technical and other methods and protection means (safety barriers) existing at the object on the processes of emergence, development and escalation of accidents at hazardous production facilities, and on their consequences as well. Also an important issue for correct understanding and application of the concept is classification of safety barriers. It is possible to classify safety barriers depending on their layout in the system, the functions executed by them or efficiency. The main most widespread methods of safety barriers classification are given. On the example of safety barriers applied for trunk oil pipelines the differences are shown in the existing approaches to their classification. Brief comparative analysis of Russian and foreign methods using the term «safety barrier» is provided.

**Key words:** risk analysis, safety barriers, barrier function, barrier system, functional safety, system safety, methods and means of protection, classification.

#### References

1. CGE Risk Management Solutions. Available at: [www.cgerisk.com/knowledge-base/risk-assessment/the-bowtie-methodology](http://www.cgerisk.com/knowledge-base/risk-assessment/the-bowtie-methodology) (accessed: September 21, 2016).
2. The Full-Scale Experiment of Public Injury in Piper Alpha Disaster. London: HMSO, 1990.
3. Hollnagel E. Accident Analysis and Barrier Functions. Halden: Institute for Energy Technology, 1999.
4. Trbojevic V.M. Optimising Hazard Management by Workforce Engagement and Supervision. Liverpool: Health and safety executive, 2008.

5. Paaske B., Lisanov M.V., Safonov V.S., Petrulevich A.A. *Bezопасnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2011. № 4. pp. 11–15.

6. Sklet S. Safety Barriers on Oil and Gas Platforms. Means Prevent Hydrocarbon Releases. Doctoral Thesis for the Degree of Doctor ingeniør. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, 2005.

7. Duijm N.J., Market F. Safety-Barrier Diagrams for Documenting Safety on Hydrogen Applications. Available at: [https://www.hydrogen-energy.gov/pdfs/safety\\_biblio/ichs2007/4.1.143.pdf](https://www.hydrogen-energy.gov/pdfs/safety_biblio/ichs2007/4.1.143.pdf) (accessed: September 21, 2016).

8. Delvosalle C., Fievez C., Pipart A. Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the Context of the Seveso II Directive. Deliverable D.1.C. WP1. Mons: Major Risk Research Centre, 2004.

9. Svenson O. Risk Analysis. 1991. Vol. 11. Iss. 3. pp. 499–507.

10. Kecklund L.J., Edland A., Wëdin P., Svenson O. Industrial Ergonomics. 1996. Vol. 17. Iss. 3. pp. 275–284.

11. Knox N.W., Eicher R.W. MORT User's Manual. Idaho Falls: Idaho National Engineering Laboratory, 1992.

12. Trost W.A., Nertney R.J. Barrier Analysis. Idaho Falls: Technical Research and Analysis Center, 1995.

13. *Obshhie trebovaniya k obosnovaniyu bezопасnosti opasnogo proizvodstvennogo obekta: feder. normy i pravila v obl. prom. bezопасnosti: prikaz Rostehnadzora ot 15 ijulja 2013 g. № 306* (General Requirements to Substantiation of Safety of Hazardous Production Facility: Federal Norms and Rules in the Field of Industrial Safety: Order of Rostehnadzor of July 15, 2013 № 306). Ser. 03. Iss. 73. Moscow: ZAO NTC PB, 2013. 11 p.

14. *Metodicheskie rekomendacii po razrabotke obosnovaniya bezопасnosti opasnykh proizvodstvennykh obektov neftegazovogo kompleksa: ruk. po bezопасnosti: prikaz Rostehnadzora ot 30 sent. 2015 g. № 387* (Methodical Recommendations on the Development of Substantiation of Safety of Hazardous Production Facilities of Oil and Gas Complex: Safety Guide: Order of Rostehnadzor of September 30, 2015 № 387). Ser. 27. Iss. 14. Moscow: ZAO NTC PB, 2015. 47 p.

15. *Metodicheskie osnovy po provedeniju analiza opasnostej i ocenki riska avarij na opasnykh proizvodstvennykh obektah: ruk. po bezопасnosti: prikaz Rostehnadzora ot 11 apr. 2016 g. № 144* (Methodical Bases on Conducting Hazards Analysis and Accidents Risk Assessment at Hazardous Production Facilities: Safety Guide: Order of Rostehnadzor of April 11, 2016 № 144). Ser. 27. Iss. 16. Moscow: ZAO NTC PB, 2016. 53 p.

16. *GOST R MJeK 61511-1—2011. Bezопасnost funkcionalnaja. Sistemy bezопасnosti priborne dlja promyshlennykh processov. Chast 1. Terminy, opredelenija i tehnicheckie trebovaniya* (GOST R IEC 61511-1—2011. Functional Safety. Instrumental Safety Systems for Industrial Processes. Part 1. Terms, Definitions and Technical Requirements). Moscow: Standartinform, 2013.

17. *GOST R 54145—2010. Menedzhment riskov. Rukovodstvo po primeneniju organizacionnykh mer bezопасnosti i ocenki riskov. Obshhaja metodologija* (GOST R 54145—2010. Risk Management. Guide on Application of Organizational Safety Measures and Risk Assessment. General Methodology). Moscow: Standartinform, 2012.

18. *GOST R ISO/MJeK 31010—2011. Menedzhment riska. Metody ocenki riska* (GOST R ISO/IEC 31010—2011. Risk Management. Methods of Risk Assessment). Moscow: Standartinform, 2012.

19. *GOST R 54141—2010. Menedzhment riskov. Rukovodstvo po primeneniju organizacionnykh mer bezопасnosti i ocenki riskov. Jetalonnye scenarii incidentov* (GOST R 54141—2010. Risk Management. Guide on Application of Organizational Safety Measures and Risk Assessment. Reference Scenarios of Incidents). Moscow: Standartinform, 2012.

20. *СТО Газпром 2-2.3-569—2011. Metodicheskoe rukovodstvo po raschetu i analizu riskov pri jekspluatacii obektov proizvodstva, hranenija i morskoy transportirovki szhizhennogo i szhatogo prirodno gaza* (STO Gazprom 2-2.3-569—2011. Methodical Guidelines on the Calculation and Risk Analysis at Operation of the Objects of Production, Storage and Sea Transportation of the Liquefied and Compressed Natural Gas). Moscow: ООО «Газпром-jekspo», 2011.

21. Regulations Relating to Design and Outfitting of Facilities, etc. In the Petroleum Activities (the Facilities Regulations). Stavanger: Petroleum Safety Authority Norway, 2015. Available at: <http://www.ptil.no/facilities/category400.html#> (accessed: March 30, 2017).



## Вниманию авторов!

За публикацию научно-технических статей плата не взимается. Вознаграждение авторам не выплачивается. Электронная версия журнала с опубликованной статьей высылается каждому автору на его e-mail.

Статьи рецензируются. Отрицательные рецензии доводятся до сведения авторов.

Журнал выпускается и в электронной версии.