

Научная статья
УДК 303.732.4
<https://doi.org/10.24143/2072-9502-2025-2-38-48>
EDN OTXCVA

Классификация показателей промышленной безопасности на опасных производственных объектах газодобывающих предприятий

**Виталий Евгеньевич Родованов¹, Андрей Геннадьевич Кокуев^{2✉},
Сергей Анатольевич Приходько³, Анастасия Валерьевна Андреева⁴**

^{1,3}ООО «Газпром добыча Астрахань»,
Астрахань, Россия

²Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, kokuievag@mail.ru✉

⁴Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова,
Москва, Россия

Аннотация. В рамках парадигмы риск-ориентированного подхода при использовании понятий индикаторов риска рассматриваются вопросы их применения ко всем возможным факторам влияния на опасный производственный объект (ОПО). Новые индикаторы риска должны охватывать максимально все виды систем и подсистем контроля с отражением вероятности отклонений от заданных граничных показателей. С этой целью для подготовки математического аппарата определения показателей промышленной безопасности (ПБ), используемых в «Системе дистанционного контроля промышленной безопасности опасных производственных объектов ООО "Газпром добыча Астрахань"», необходимо провести классификацию показателей ПБ, определить их состав, меру, функциональные свойства. Особенность подхода состоит в том, что оценка риска возникновения события в области ПБ производится на основе системного анализа ОПО, его элементов и составляющих (технологические блоки и технические устройства). Соответственно, при аналитической обработке поступающих данных об ОПО как системе в целом ставится задача выявления на ранних стадиях предпосылок аварий и/или инцидентов с целью принятия решений по оперативной оценке рисков и прогнозированию возможности развития опасного события на любом уровне иерархической структуры ОПО. При этом используется достоверная, получаемая в онлайн-режиме (в режиме реального времени) информация о текущем состоянии объекта контроля и его составных частей. Используя многофакторный анализ данных об элементах ОПО, возможно внедрить проактивное управление рисками в области ПБ (когда технологическому персоналу ОПО предлагается инструмент реагирования на возможное возникновение нештатных ситуаций на основе анализа разработанной матрицы сценарных условий), реализовать оперативную поддержку принятия превентивных мер (решений) по недопущению аварий, предаварийных ситуаций и инцидентов.

Ключевые слова: промышленная безопасность, опасный производственный объект, риск аварии, автоматизированная система управления, интегральный показатель

Для цитирования: Родованов В. Е., Кокуев А. Г., Приходько С. А., Андреева А. В. Классификация показателей промышленной безопасности на опасных производственных объектах газодобывающих предприятий // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2025. № 2. С. 38–48. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2025-2-38-48>. EDN OTXCVA.

Classification of industrial safety indicators at hazardous production facilities of gas producing enterprises

Vitalii E. Rodovanov¹, Andrei G. Kokuev²✉, Sergei A. Prikhodko³, Anastasia V. Andreeva⁴

^{1,3}*Gasprom dobycha Astrakhan, LLC,
Astrakhan, Russia*

²*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, kokuevag@mail.ru ✉*

⁴*Plekhanov Russian University of Economics,
Moscow, Russia*

Abstract. Within the framework of the risk-based approach, when using the concepts of risk indicators, the issues of their application to all possible factors of influence on a hazardous production facility (HPF) are considered. The new risk indicators should cover as much as possible all types of control systems and subsystems, reflecting the likelihood of deviations from the set limits. To this end, in order to prepare a mathematical apparatus for determining industrial safety indicators (IS) used in “The system of Remote Control of Industrial Safety of Hazardous production facilities of Gazprom dobycha Astrakhan LLC”, it is necessary to classify IS indicators, determine their composition, measure, and functional properties. The peculiarity of the approach is that the assessment of the risk of an event in the field of IS is based on a system analysis of the HPF, its elements and components (technological blocks and technical devices). Accordingly, during the analytical processing of incoming HPF data as a whole, the task is to identify the prerequisites for accidents and/or incidents at an early stage in order to make decisions on operational risk assessment and forecasting the possibility of a dangerous event developing in the hierarchical structure of the HPF environmental management system at any level. This uses reliable, online (real-time) information about the current state of the control object and its components. Using a multi-factor analysis of data on the elements of the HPF, it is possible to implement proactive risk management in the field of IS (when the technical staff of the HPF is offered a tool to respond to possible emergency situations based on the analysis of the developed matrix of scenario conditions), to implement operational support for the adoption of preventive measures (solutions) to prevent accidents, pre-emergency situations and incidents.

Keywords: industrial safety, hazardous production facility, accident risk, automated control system, integral indicator

For citation: Rodovanov V. E., Kokuev A. G., Prikhodko S. A., Andreeva A. V. Classification of industrial safety indicators at hazardous production facilities of gas producing enterprises. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, computer science and informatics.* 2025;2:38–48. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2025-2-38-48>. EDN OTXCVA.

Введение

По официальной терминологии, согласно определению в Руководстве по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденном приказом № 144 Ростехнадзора от 11 апреля 2016 г. [1], риск аварии – это мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии на ОПО, и соответствующая ей тяжесть ее последствий.

Использование дистанционного контроля промышленной безопасности (ПБ) в деятельности предприятий нефтегазового комплекса, эксплуатирующих опасные производственные объекты (ОПО), связано, прежде всего, с переходом на риск-ориентированный подход, сформулированный Указом Президента РФ от 6 мая 2018 г. № 198 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в области промышленной безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» [2]. Этот Указ дополняет принципы, опубликованные в Указе

Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» [3].

К аварийным ситуациям или к их предпосылкам могут привести различные факторы при ведении технологического процесса на опасных объектах, например:

- отказы оборудования в связи с превышением нормативного срока эксплуатации и/или из-за нарушения технологического режима работы объекта;
- непредсказуемые факторы, вызванные внешним воздействием;
- влияние ошибок человека при эксплуатации технологических объектов – «человеческий фактор».

Для описания влияния данных факторов используются разными методами и математическим аппаратом в теории надежности и теории вероятности.

В соответствии с подходом ANSI/API RP 754 [4], для оценки эффективности ПБ предлагаются 4 уровня показателей ПБ (рис. 1).

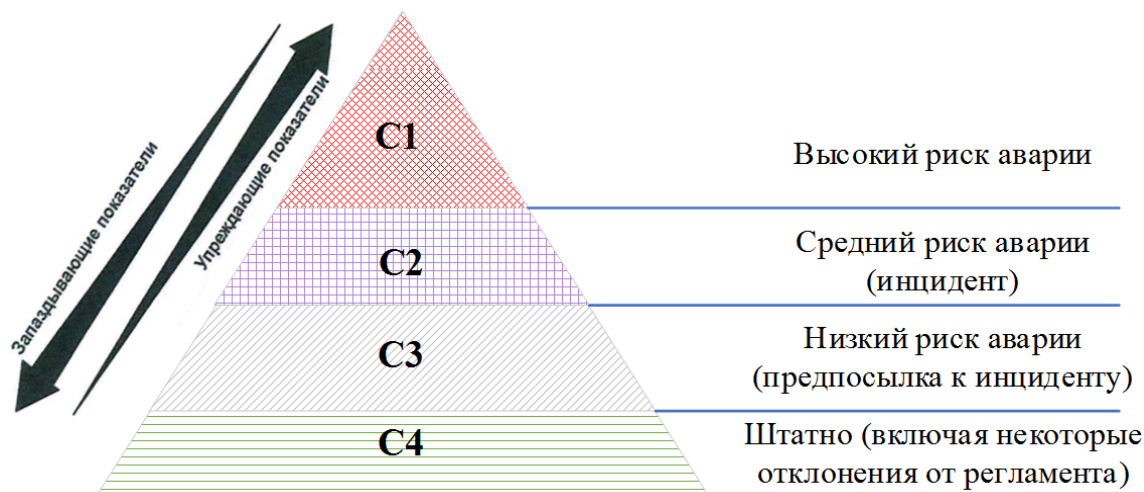


Рис. 1. Классификация событий и показателей промышленной безопасности

Fig. 1. Classification of industrial safety events and indicators

Вершина пирамиды представляет собой запаздывающие индикаторы, т. е. те, которые появляются при возникновении события и отражают низкий уровень эффективности ПБ, демонстрируя скорость развития события. Будем называть данный индикатор *реактивным показателем*.

Основание пирамиды – упреждающие индикаторы, т. е. те, которые могут дать представление о потенциальном состоянии ПБ, предсказывающем ухудшение состояние объекта, с целью принятия раннего воздействия для исправления ситуации, не приводящей к высоким уровням риска аварий. Будем называть данный индикатор *проактивным показателем*.

События ПБ классифицируются на следующие уровни аварийной опасности:

- уровень 1 – серьезные последствия при возникновении события, сопоставляется со значением C1 (см. рис. 1), характеризует состояние объекта как высокий риск аварии;
- уровень 2 – менее серьезные последствия при возникновении события, сопоставляется со значением C2, характеризует состояние объекта как средний риск аварии – инцидент;
- уровень 3 – необходимость активации системы безопасности для принятия превентивных мер для изменения состояния объекта до уровня 1 или 2, чтобы не произошел рост негативных факторов, данному уровню сопоставляется значение C3, характеризующее состояние объекта как низкий риск аварии – предпосылка к инциденту;
- уровень 4 – система управления ПБ является относительно эффективной, данному уровню сопоставляется значение C4, характеризующее состояние объекта как штатное с возможными незначи-

тельными отклонениями, не приводящими к активации системы безопасности.

Подобная классификация событий приводится в Руководстве по безопасности «Методические рекомендации по классификации аварийно опасных происшествий на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса» [5], однако данная классификация не учитывает 4-й уровень при рассмотрении пирамиды событий.

Структура взаимодействия показателей ПБ

На примере Астраханского газоконденсатного месторождения (ГКМ) для оценки рисков возникновения нештатных ситуаций (аварий и инцидентов) на ОПО в Системе дистанционного контроля промышленной безопасности (СДК ПБ) применяется совокупность методов, основанных на сборе и анализе технологической информации от различных источников данных, которые влияют непосредственно на объект контроля, и исследованиях в части оценки состояния ПБ, и вся косвенная информация, влияющая на показатели ПБ (рис. 2).

В частности, для обеспечения многофакторного анализа оценки рисков аварии учитываются данные от автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), контролирующей все ОПО, и от локальных систем управления элементами ОПО (скважины, крановые узлы и пр.), действия оперативно-диспетчерского персонала, контроля технологического режима и регламента работы каждого элемента. Учет оперативных данных и информации от смежных информационных систем (систем управления активами, технического диагностирования, административно-производственного контроля (АПК), контроля

технического состояния оборудования на ОПО и т. д.) позволяет на основе этих данных определить основные показатели ПБ и рассчитать общий

(интегральный) показатель риска возникновения аварийных ситуаций [6].

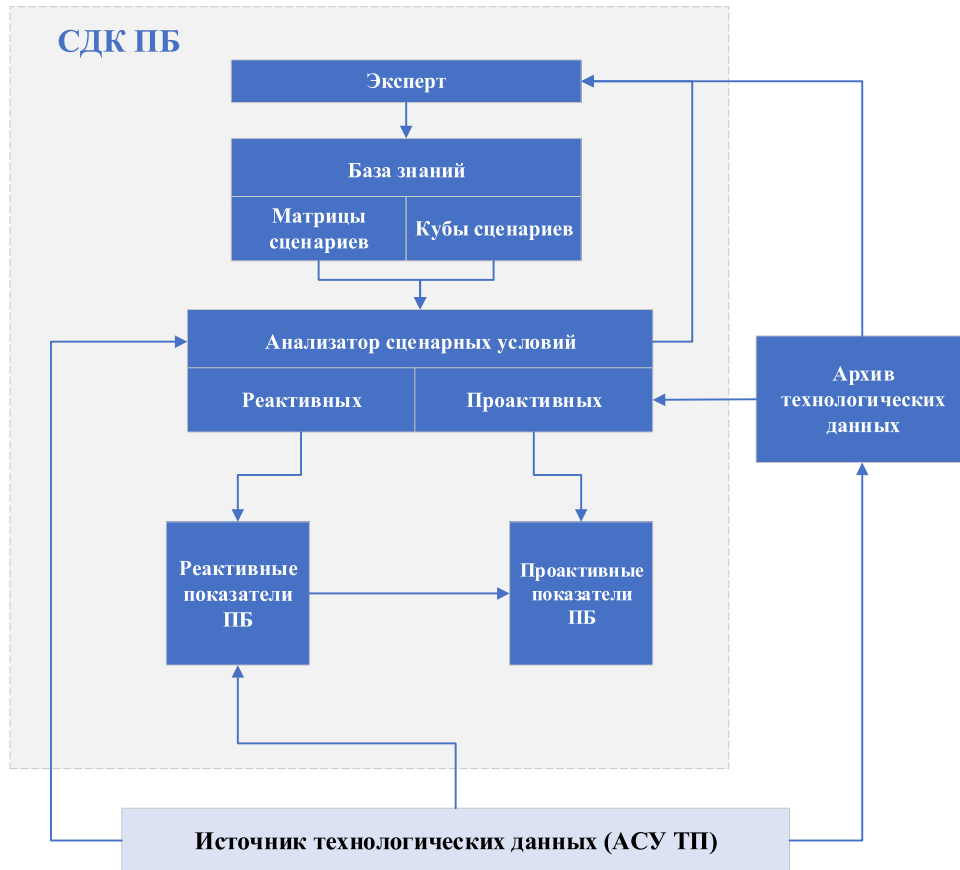


Рис. 2. Блок-схема взаимодействия показателей

Fig. 2. A block diagram of the interaction of indicators

Условно показатели, характеризующие состояние ПБ объектов, можно классифицировать по следующим признакам:

- временные;
- статические показатели, квазипостоянные, практически неизменяемые во времени, зависящие только от изменения каких-либо параметров объекта;
- динамические показатели, зависящие от хода технологического процесса, характеризующие состояние ПБ объекта во времени.

По уровню оценки они классифицируются:

- на интегральные показатели, характеризующие состояние ПБ ОПО или элементов ОПО в целом по основополагающим признакам (оборудование, технологический процесс, качество АПК и т. п.);
- обобщенные показатели, характеризующие состояние ПБ частей ОПО на основании частных показателей входящих в него частей (элементов, технологических блоков, технических устройств);

- частные показатели, характеризующие отдельные составляющие ПБ на ОПО (такие как соответствие требованиям при проведении АПК на технологическом блоке (ТБ), выполнение регламентного технического обслуживания (ТО), своевременное проведение текущего ремонта (ТР), эффективная и бережная эксплуатация технических устройств (ТУ), контроль технологического процесса и т. п.).

В случае если ОПО декомпозируется на элементы (составляющие) ОПО (на примере Астраханского ГKM: для ОПО «Фонд скважин» элементом является скважина), вычисление интегрального показателя ПБ выполняется для каждого элемента ОПО. В таком случае интегральный показатель ОПО характеризует состояние ПБ (состояние защищенности) с учетом максимального риска аварии на любом его отдельном элементе, т. е. чем выше риск аварии, тем меньше интегральный показатель ОПО.

Реактивные показатели (запаздывающие)

В рамках данной статьи раскроем реактивные показатели ПБ, для которых исходными данными для расчета являются частные статические показатели, сформированные на основе аналитической и статической отчетности эксплуатирующей организацией ОПО, и динамические показатели текущего состояния объекта и его элементов.

Частные статические показатели состояния ПБ объекта состоят:

а) из показателей готовности к действиям по локализации и ликвидации последствий аварий на ОПО:

- показатели обученности производственного персонала для обеспечения готовности к действиям по плану локализации и ликвидации последствий аварий – R_r ;

- относительное количество отсутствующих планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий (ПМЛА) – $G_{ПМЛА}$;

- относительное количество отсутствующих договоров с аварийно-спасательными формированиями (АСФ) – $G_{АСФ}$;

- отсутствие аварийного запаса в соответствии с перечнем – $G_{а.з.}$;

б) показательной деятельности по результатам контроля состояния ПБ:

- укомплектованность штатом ОПО – $G_{ук.шт.}$;

- показатели системы обучения сотрудников в области ПБ – $G_{АТ}$;

- показатель аварийности за заданный период – $R_{ав.}$

Динамические показатели текущего состояния ОПО и его элементов:

1. Интегральные показатели состояния ПБ и статусы ОПО:

- показатели обобщенного состояния (статус) ОПО C_i ;

- интегральный показатель состояния ПБ ОПО $IP_{ОПО}$, элементов ОПО $IP_{эл}$;

2. Частные и обобщенные показатели состояния ПБ объекта:

- индивидуальные показатели P_{C_k} по каждому сценарию матрицы комплексных сценариев и обобщающий показатель состояния ПБ элемента ОПО $P_{с.эл}$ по комплексным сценариям;

- обобщенный показатель превышения пределов безопасности технологического процесса элемента ОПО за определенный период времени $T - P_{оп.эл.}$;

- частный показатель количества техногенных событий ПБ класса С1–С4 за определенный период времени $T - N_{Ci}$;

- частный показатель частоты техногенных событий ПБ класса С1–С4 за определенный период времени $T - F_{Ci}$;

- обобщенный взвешенный показатель количества техногенных событий ПБ за определенный период времени $T - W$;

- показатель готовности приборных систем безопасности P_r ;

- показатель относительного времени готовности блокировок $P_{б.в.}$;

- функциональные показатели отклонений АПК ТБ – $N_{ФП АПКб}$;

- обобщенный показатель технического обслуживания ТУ – $N_{ТОу}$;

- индивидуальные показатели изменения надежности ТУ от начала срока эксплуатации – $N_{н.туу}$;

- функциональные показатели безопасности эксплуатационных параметров ТУ ТБ элемента ОПО – $N_{ФП туу}$;

- обобщенный показатель состояния эксплуатации и обслуживания ТБ элемента ОПО – $P_{ТБб}$;

- обобщенный показатель технического риска ПБ элемента опасного производственного объекта – $P_{эл}$;

- обобщенный показатель результативности АПК, проводимого на ОПО или элементе ОПО, $O_{ПК}$ (обновляется 1 раз в квартал).

Показатель обобщенного состояния (статус) ПБ

Производственное объединение, ОПО, элемент ОПО, контролируемые СДК ПБ, могут находиться в одном из шести состояний:

1. «Высокий риск аварии».
2. «Средний риск аварии».
3. «Низкий риск аварии».
4. «Штатно».
5. «Регламентные работы».
6. «Нет данных».

Статус объекта формируется на основании интегрального состояния ПБ объекта.

Значение статуса ПБ $C_{ПО}$ производственного объединения определяется как функция ранжирования минимального значения интегрального показателя состояния ПБ входящих в него ОПО (согласно табл. 1 могут принимать одно из 4-х значений):

$$C_{ПО} = f_{статус}(\min(IP_{ОПОi})), i \in \{1, \dots, N_{ОПО}\},$$

где $IP_{ОПОi}$ – интегральный показатель состояния ПБ i -го ОПО; $i \in \{1, \dots, N_{ОПО}\}$ – множество всех ОПО производственного объединения.

Показатель обобщенного состояния (статус) ОПО, элемента ОПО

Статус ОПО и статус элемента ОПО формируются с помощью функции ранжирования статуса (согласно табл. 1 могут принимать одно из 4-х значений) на основании интегрального состояния ПБ объекта (IP):

$$C_{ОПО} = f_{статус}(IP_{ОПО}); \quad (1)$$

$$C_{эл} = f_{статус}(IP_{эл}).$$

Таблица 1

Table 1

Соответствие обобщенного состояния (статуса) объекта интегральному показателю промышленной безопасности и уровню техногенного события (риска) – функция ранжирования статуса

Compliance with the generalized state (status) according to the integrated indicator of industrial safety and the level of man-made event (risk), the status ranking function

Интегральный показатель состояния ПБ ОПО $IP_{\text{ОПО}}$	Уровень техногенного риска $fc(IP_{\text{ОПО}})$	Статус ОПО	Индикатор статуса ОПО	Примечание
$0 < IP_{\text{ОПО}} \leq 0,2$	$C = 1$	Высокий риск аварии	C1	Расчет по формуле (1)
$0,2 < IP_{\text{ОПО}} \leq 0,5$	$C = 2$	Средний риск аварии	C2	Расчет по формуле (1)
$0,5 < IP_{\text{ОПО}} \leq 0,8$	$C = 3$	Низкий риск аварии	C3	Расчет по формуле (1). Условно-постоянная величина, если «Нет данных»
$IP_{\text{ОПО}} = 0,65$				
$0,8 < IP_{\text{ОПО}} < 1,0$	$C = 4$	Штатно	C4	Расчет формуле (1). Условно-постоянная величина, если «Регламентные работы»
$IP_{\text{ОПО}} = 0,9$				

Интегральный показатель состояния ПБ ОПО $IP_{\text{ОПО}}$ определяется с учетом интегральных показателей ПБ всех входящих в него элементов $IP_{\text{эл}}$ (которые, в свою очередь, зависят от состояния входящих в их состав технологических блоков и технических устройств), эффективности АПК, проводимого на ОПО, и состояния ПБ смежных ОПО.

Также статус ОПО $C_{\text{ОПО}}$ может принимать значения 3 или 4, при условии, что все элементы ОПО находятся в состоянии «Регламентные работы», обобщенное состояние ОПО принимает условное значение 0,9 (среднее значение интервала «Штатно»), т. к. системы сбора и передачи данных могут находиться в выключенном состоянии или не в полном объеме выдавать необходимую информацию об элементах ОПО, но состояние элемента находится под контролем, частный случай регламентного технического обслуживания или планового предупредительного ремонта на ОПО.

При отсутствии на элементах ОПО данных обо всех технических устройствах, блоках, установках, входящих в состав элемента, параметрах их работы состояние объекта принимает условное значение 0,65 (среднее значение интервала «Низкий риск аварий»), т. к. состояние элемента достоверно неизвестно, активируется система безопасности для принятия превентивных мер.

Интегральный показатель состояния промышленной безопасности ОПО

Интегральные показатели ПБ ОПО или элемента ОПО должны отражать риск возникновения аварии на ОПО или элементе ОПО.

Согласно классификации, установленной «Методическими рекомендациями по классификации техногенных событий в области промышленной безопасности на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса» [7], тяжести последствий между событиями типа «авария» (1-й уровень) и «инцидент» (2-й уровень) отличаются в 10 раз (см. табл. 1 и 2 в [7]).

Согласно принятой выше градуировке соответствия уровня техногенного события интегральному показателю ПБ (см. табл. 1) событию типа «авария» (1-й уровень) соответствует значение $IP \leq 0,2$, а событию типа «инцидент» (2-й уровень) – $IP \leq 0,5$, т. е. при калибровке математического обеспечения необходимо учитывать, что изменение риска тяжести последствий техногенного события в $pl = 10$ раз должно изменять интегральный показатель ($IP_{\text{ОПО}}$) на $dl = 0,3$. Тогда, используя логарифмическую шкалу зависимости между интегральным показателем состояния ПБ ОПО ($IP_{\text{ОПО}}$) и показателями риска аварии на ОПО, можно выразить зависимость графически (рис. 3).

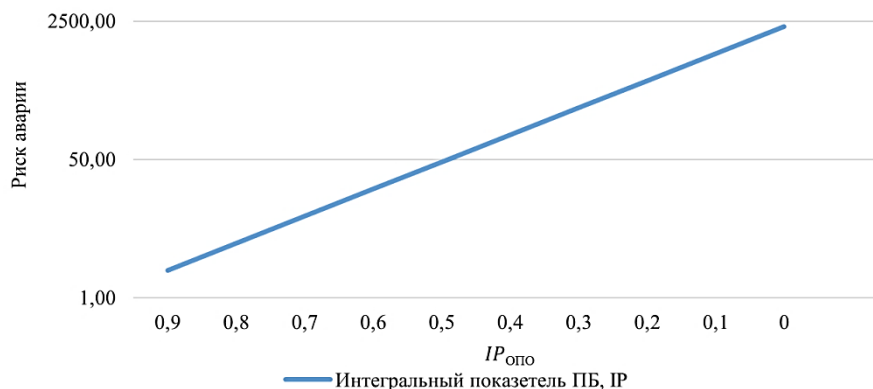


Рис. 3. Зависимость риска аварии ОПО от интегрального показателя ПБ ОПО

Fig. 3. Dependence of the risk of an HPF accident on the integral indicator of the IS HPF

В результате анализа составляющих причин техногенных событий на ОПО выявляются следующие возможные события:

- техногенное событие на любом из элементов ОПО по причине низких показателей ПБ отдельных элементов;
- низкая результативность АПК ОПО;
- возникновение техногенного события на ОПО

по причине события на смежном ОПО.

Учитывая вышесказанное, для определения интегрального показателя будет использована следующая блок-схема надежности – простая последовательная модель (рис. 4), где $D_{эл1}$, $D_{эл2}$, ..., $D_{эли}$ – «ненадежность» элементов модели; $D_{ПК}$ – «нерезультативность» АПК; $D_{см}$ – «ненадежность» смежных систем.

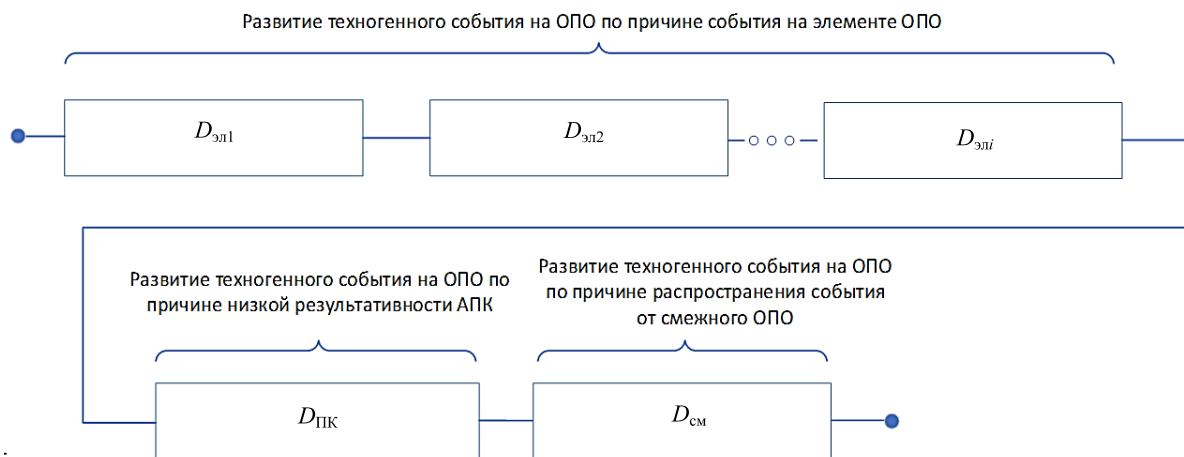


Рис. 4. Блок-схема модели надежности ОПО в зависимости от надежности его отдельных элементов, результативности АПК и состояния смежных ОПО

Fig. 4. A block diagram of a model of the reliability of an HPF, depending on the reliability of its individual elements, the effectiveness of the AIC and the state of adjacent HPFs

Используя расчетные формулы надежности ГОСТ Р 51901.14-2007 [8], интегральный показатель состояния ПБ ОПО $IP_{ОПО}$ является произведением всех блоков, входящих в систему, т. е. вычисляется на основе общего интегрального показателя

состояния элементов ОПО $IP_{ОПО\ эли}$, показателя результативности АПК ОПО $IP_{ОПО\ АПК}$ и общего интегрального показателя состояния ПБ смежных ОПО $IP_{ОПО\ см}$:

$$IP_{ОПОi} = IP_{ОПО\ эли} \cdot IP_{ОПО\ АПКi} \cdot IP_{ОПО\ смi}, \quad i \in \{1, \dots, N_{ОПО}\},$$

где $IP_{ОПО\ эли}$ – интегральный показатель ОПО i -го элемента; $IP_{ОПО\ АПКi}$ – интегральный показатель

АПК i -го элемента; $IP_{ОПО\ смi}$ – интегральный показатель i -го смежного ОПО.

Общий интегральный показатель состояния элементов ОПО

Учитывая логарифмическую зависимость используемых показателей ПБ, влияние аварии на одном

элементе на аварийное состояние всего объекта и вероятность эскалации аварии, получим формулу определения интегрального показателя состояния ПБ элементов ОПО:

$$IP_{\text{ОПО эл } i} = \log \frac{1}{pl} \left\{ 1 - \prod_{j=1}^{N_{\text{эл}(i)}} \left[1 - \left[\left(\frac{1}{pl} \right)^{IP_{\text{эл } j} \cdot 1/dl} - \left(\frac{1}{pl} \right)^{1/dl} \right] \cdot CW_{\text{эл } j} \cdot E_{\text{эл } j} \right] + \left(\frac{1}{pl} \right)^{1/dl} \right\} \cdot dl, \quad (2)$$

$$i \in \{1, \dots, N_{\text{ОПО}}\},$$

где $j \in \{1, \dots, N_{\text{эл}(i)}\}$ – множество элементов ОПО для каждого обсчитываемого ОПО; $1/pl$ – основание логарифма, где $pl = 10$; dl – цена деления логарифмической шкалы интегральных показателей ($dl = 0,3$); $CW_{\text{эл } j}$ – весовой коэффициент элемента ОПО, устанавливается на основании Декларации ПБ ОПО и учитывает тяжесть максимальной гипотетической аварии на элементе ОПО, определяется на основании [1] (табл. 2); $E_{\text{эл } j}$ – весовой коэффициент, устанавливается экспертным путем, учитывает вероятность эскалации аварии на ОПО на элементе ОПО – распространение аварии на соседние элементы, рекомендуемые значения – в табл. 3.

Таблица 2

Table 2

Коэффициент тяжести аварии

The severity factor crash

Тяжесть аварии на элементе ОПО	Возможное число погибших при аварии на элементе ОПО	Возможный материальный ущерб при аварии на элементе ОПО, млн руб.	Значение $CW_{\text{эл } j}$
Чрезвычайно высокая	>50	>500	1,0
Высокая	10–50	50–100	0,8
Средняя	5–9	10–50	0,7
Малая	<5	<10	0,6

Таблица 3

Table 3

Коэффициент вероятности эскалации аварии

Accident escalation probability coefficient

Эскалация аварии	Значение $E_{\text{эл}}$ или $E_{\text{ОПО}}$
Высокая вероятность	1,0
Возможная вероятность (сценарий возможен)	0,7
Низкая вероятность (сценарий маловероятен или практически невероятен)	0,4

Показатель результативности АПК ОПО

$$IP_{\text{ОПО АПК } i} = (1 - (1 - O_{\text{ПК}}) \cdot k_{\text{о.ПК}}), \quad (3)$$

$$i \in \{1, \dots, N_{\text{ОПО}}\},$$

где $O_{\text{ПК}}$ – показатель результативности АПК ОПО, учитывающий показатели аварийности, наличие пов-

торных замечаний, предписаний контролирующих органов, аудиты независимых организаций; $k_{\text{о.ПК}}$ – весовой коэффициент показателя результативности АПК ОПО, учитывающий влияние результативности АПК ОПО на интегральный показатель безопасности ОПО. Рекомендуемые значения – в табл. 4.

Таблица 4

Table 4

Коэффициент показателя результативности АПК ОПО

The coefficient of the AIC HPF performance indicator

Критерии опасности ОПО		Значение $k_{0,ПК}^*$
Класс опасности ОПО	Наличие взрывопожароопасных технологических блоков	
I (чрезвычайно высокой опасности)	Блоки 1-й категории	1,0
	Блоки 2-й категории	0,9
II (высокой опасности)	Блоки 3-й категории	0,7
III (средней опасности)	Независимо от категории	0,4

* Принимается максимальное значение $k_{0,ПК}$, исходя из обоих критериев.

Общий интегральный показатель состояния ПБ смежных ОПО

$$IP_{ОПО\ см i} = \prod_{k=1}^{N_{ОПО\ см(i)}} [1 - (1 - IP_{см k}) \cdot CW_{ОПО k} \cdot E_{ОПО k}],$$

$$i \in \{1, \dots, N_{ОПО}\},$$

где $k \in \{1, \dots, N_{ОПО\ см(i)}\}$ – множество всех смежных ОПО для каждого обсчитываемого ОПО, при аварии на которых возможно распространение аварии на рассматриваемом ОПО:

- для ФОНД (ОПО «Фонд скважин»): $N_{ОПО\ см} = 1$ (СПТ – ОПО «Система промысловых трубопроводов, газоконденсатопроводов»);
- для УППГ (одно из ОПО «Установка комплексной подготовки газа»): $N_{ОПО\ см} = 1$ (СПТ);

$$IP_{см k} = IP_{см ОПО_эл k} \cdot IP_{см ОПО_АПК k}, \quad k \in \{1, \dots, N_{ОПО\ см(i)}\}, \quad (4)$$

где $k \in \{1, \dots, N_{ОПО\ см(i)}\}$ – множество всех смежных ОПО для каждого обсчитываемого ОПО, при аварии на которых возможно распространение аварии на рассматриваемом ОПО; $IP_{см ОПО_эл k}$ – интегральный показатель состояния ПБ элементов смежного ОПО; $IP_{см ОПО_АПК k}$ – интегральный показатель результативности АПК смежного ОПО.

- для СПТ: $N_{ОПО\ см} = 7$ (ФОНД, все 6 УППГ);
- для УПТР (ОПО «Парк резервуарный (промысловый)»): $N_{ОПО\ см} = 0$.

$CW_{ОПО k}$ – весовой коэффициент, устанавливается экспертным путем или на основании Декларации ПБ ОПО, учитывает тяжесть максимальной гипотетической аварии на смежном ОПО. Рекомендуемые значения приведены в табл. 2; $E_{ОПО k}$ – весовой коэффициент, устанавливаемый экспертным путем, учитывает вероятность распространения (эскалации) аварии от смежного ОПО. Рекомендуемые значения приведены в табл. 3; $IP_{см k}$ – интегральный показатель состояния ПБ k -го смежного ОПО – рассчитывается по формуле

В формуле (4) показатели $IP_{см ОПО_эл k}$ и $IP_{см ОПО_АПК k}$ ($k \in \{1, \dots, N_{ОПО\ см(i)}\}$) берутся из тех ОПО производственного объединения $IP_{ОПО_эл i}$ по формуле (2) и $IP_{ОПО_АПК k}$ по формуле (3) соответственно, ($i \in \{1, \dots, N_{ОПО}\}$), которые являются смежными для обсчитываемого ОПО (рис. 5).

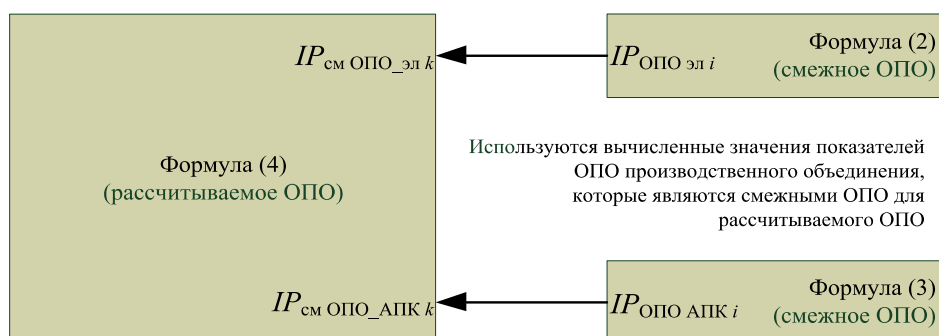


Рис. 5. Блок-схема вычислений показателя рассчитываемого ОПО при влиянии на него смежных ОПО

Fig. 5. A flowchart for calculating the indicator of the calculated GPO under the influence of adjacent GPO on it

Множество $k \in \{1, \dots, N_{\text{ОПО_см}(i)}\}$ полностью входит в множество $i \in \{1, \dots, N_{\text{ОПО}}\}$.

В частном случае, например для некоторых ОПО, таких как УПТР, смежные ОПО отсутствуют.

В итоге определены зависимости статусов ПБ производственного объединения от входящего в него ОПО и элементов ОПО, а также влияние показателей ОПО смежных систем.

Заключение

Проведена классификация показателей промышленной безопасности (ПБ) ОПО на примере Астраханского ГКМ с разделением на реактивные и проактивные показатели. В рамках данной статьи раскрыты реактивные показатели промышленной безопасности.

Принятые выше показатели позволяют сформировать математическое описание состояния ПБ ОПО, классифицируя все возникшие события в процессе эксплуатации как ОПО, так и его элементов.

Список источников

1. Об утверждении руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах»: приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. № 144. URL: <https://krantest.ru/uploads/files/ntd/ntd-467-20190405-234059.pdf> (дата обращения: 23.12.2024).

2. Об основах государственной политики Российской Федерации в области промышленной безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу: Указ Президента Российской Федерации от 06 мая 2018 г. № 198. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43022> (дата обращения: 23.12.2024).

3. О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы: Указ Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919> (дата обращения: 23.12.2024).

4. ANSI/API RP 754. Показатели эффективности безопасности производства для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. URL: <https://mycontrolroom.com/human-factors-process-safety> (дата обращения: 23.12.2024).

5. Об утверждении руководства по безопасности «Методические рекомендации по классификации ава-

рии основных определений обобщенного показателя (статуса) ПБ ОПО, определена математическая зависимость риска аварии ОПО от интегрального показателя ПБ ОПО.

Оценке подлежат события, фиксирующиеся системами автоматического управления каждого элемента ОПО, системами технической диагностики и/или системами диспетчерских служб предприятия и службами, осуществляющими производственный контроль на предприятии.

Фиксация аварийно опасного события определенного уровня на объекте контроля влияет на текущую оценку обобщенного состояния объекта контроля и учитывается при расчете комплексного (интегрального) показателя состояния ПБ на ОПО.

В основе классификации техногенных событий лежит каталог контролируемых параметров элемента ОПО его технических устройств и блоков, позволяющих в дальнейшем сформировать матрицу комплексных сценарных условий техногенных событий.

рийно опасных происшествий на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса»: приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 ноября 2023 г. № 410. URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rostehnadzora-ot-20.11.2023-N-410/> (дата обращения: 23.12.2024).

6. Пономаренко Д. В., Гавриленко Е. Л., Низамов Н. Ф., Родованов В. Е., Приходько С. А., Андреев А. А., Колесов С. В. Система дистанционного контроля промышленной безопасности опасных производственных объектов ООО «Газпром добыча Астрахань» // Газовая промышленность. 2023. № 8 (852). С. 80–90.

7. Об утверждении руководства по безопасности «Методические рекомендации по классификации техногенных событий в области промышленной безопасности на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса»: приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) от 29 января 2018 г. № 29. URL: <https://gpm-liftservis.ru/uploads/files/ntd/ntd-555-20190610-234053.pdf> (дата обращения: 23.12.2024).

8. ГОСТ Р 51901.14-2007. Менеджмент риска. Структурная схема надежности и булевы методы. М.: Стандартинформ, 2008. 24 с.

References

1. *Ob utverzhdenii rukovodstva po bezopasnosti «Metodicheskie osnovy po provedeniyu analiza opasnostey i ocenki riska avarij na opasnykh proizvodstvennykh ob'ektah»: prikaz Federal'noj sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 11 aprelya 2016 g. № 144* [On approval of the safety Manual “Methodological Foundations for Hazard Analysis and Accident Risk Assessment at Hazardous Production Facilities”: Order No. 144 of the Federal Service for Environmental,

Technological and Nuclear Supervision dated April 11, 2016]. Available at: <https://krantest.ru/uploads/files/ntd/ntd-467-20190405-234059.pdf> (accessed: 23.12.2024).

2. *Ob osnovah gosudarstvennoj politiki Rossijskoj Federacii v oblasti promyshlennoj bezopasnosti na period do 2025 goda i dal'nejshuyu perspektivu: Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 06 maya 2018 g. № 198* [On the fundamentals of the state policy of the Russian Federation in the field of industrial safety for the period up to 2025 and

beyond: Decree of the President of the Russian Federation No. 198 dated May 06, 2018]. Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43022> (accessed: 23.12.2024).

3. *O Strategii razvitiya informacionnogo obshchestva v Rossijskoj Federacii na 2017–2030 gody: Ukaz Prezidenta RF ot 9 maya 2017 g. № 203* [On the Strategy for the Development of the Information Society in the Russian Federation for 2017-2030: Decree of the President of the Russian Federation dated May 9, 2017 No. 203]. Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919> (accessed: 23.12.2024).

4. *ANSI/API RP 754. Pokazateli effektivnosti bezopasnosti proizvodstva dlya neftepererabatyvayushchej i neftekhimicheskoy promyshlennosti* [Indicators of the effectiveness of harmless production dlya neftepererabatyvayushchej and neftekhimicheskaya promyshlennost]. Available at: <https://mycontrol-room.com/human-factors-process-safety> (accessed: 23.12.2024).

5. *Ob utverzhdenii rukovodstva po bezopasnosti «Metodicheskie rekomendacii po klassifikacii avarijno opasnyh proisshestvij na opasnyh proizvodstvennyh ob"ektah neftegazovogo kompleksa»: prikaz Federal'noj sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 20 noyabrya 2023 g. № 410* [On approval of the safety Manual “Methodological Recommendations for the Classification of Hazardous accidents at Hazardous Production facilities of the Oil and Gas Complex”: Order No. 410 of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision dated November 20, 2023]. Available at: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rostehnad->

[zora-ot-20.11.2023-N-410/](http://www.rulaws.ru/acts/Prikaz-Rostehnad-zora-ot-20.11.2023-N-410/) (accessed: 23.12.2024).

6. Ponomarenko D. V., Gavrilenko E. L., Nizamov N. F., Rodovanov V. E., Prihod'ko S. A., Andreev A. A., Kolesov S. V. Sistema distancionnogo kontrolya promyshlennoj bezopasnosti opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov ООО «Газпром добыча Астрахань» [The system of remote control of industrial safety of hazardous production facilities of Gazprom Dobycha Astrakhan LLC]. *Gazovaya promyshlennost'*, 2023, no. 8 (852), pp. 80-90.

7. *Ob utverzhdenii rukovodstva po bezopasnosti «Metodicheskie rekomendacii po klassifikacii tekhnogennyh sobytij v oblasti promyshlennoj bezopasnosti na opasnyh proizvodstvennyh ob"ektah neftegazovogo kompleksa»: prikaz Federal'noj sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru (Rostekhnadzor) ot 29 yanvarya 2018 g. № 29* [On approval of the safety manual “Methodological recommendations for the classification of man-made events in the field of industrial safety at hazardous production facilities of the oil and gas complex”: order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision (Rostekhnadzor) dated January 29, 2018, No. 29]. Available at: <https://gpmliftservis.ru/uploads/files/ntd/ntd-555-20190610-234053.pdf> (accessed: 23.12.2024).

8. *GOST R 51901.14-2007. Menedzhment riska. Strukturnaya skhema nadezhnosti i bulevy metody* [ISS R 51901.14-2007. Risk management. Reliability block diagram and Boolean methods]. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 24 p.

Статья поступила в редакцию 28.01.2025; одобрена после рецензирования 14.04.2025; принята к публикации 24.04.2025
The article was submitted 28.01.2025; approved after reviewing 14.04.2025; accepted for publication 24.04.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Виталий Евгеньевич Родованов – начальник производственного отдела автоматизации и метрологического обеспечения; ООО «Газпром добыча Астрахань»; rve125@mail.ru

Андрей Геннадьевич Кокуев – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой автоматики и управления; Астраханский государственный технический университет; kokuevag@mail.ru

Сергей Анатольевич Приходько – начальник службы промышленной безопасности; ООО «Газпром добыча Астрахань»; sprihodko@astrakhan-dobycha.gazprom.ru

Анастасия Валерьевна Андреева – кандидат психологических наук; Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова; Architector83@inbox.ru

Vitalii E. Rodovanov – Head of the Production Department of Automation and Metrological Support; Gazprom dobycha Astrakhan, LLC; rve125@mail.ru

Andrei G. Kokuev – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Automation and Control; Astrakhan State Technical University; kokuevag@mail.ru

Sergei A. Prihodko – Head of the Service Industrial Safety; Gazprom dobycha Astrakhan, LLC; sprihodko@astrakhan-dobycha.gazprom.ru

Anastasia V. Andreeva – Candidate of Psychological Sciences; Plekhanov Russian University of Economics; Architector83@inbox.ru

