

DOI: 10.24000/0409-2961-2022-11-14-19

УДК 658.382.3

© А.С. Печёркин, А.И. Гражданкин, Н.Л. Разумняк, 2022

Тенденции динамики фоновых показателей опасностей аварий на опасных производственных объектах



А.С. Печёркин,
д-р техн. наук,
проф., первый зам.
ген. директора



А.И. Гражданкин,
д-р техн. наук,
зав. отделом,
gra@safety.ru



Н.Л. Разумняк,
д-р техн. наук,
вед. науч.
сотрудник

ЗАО НТЦ ПБ, Москва, Россия

Для риск-ориентированного обеспечения промышленной безопасности требуется знание тенденций изменения аварийности, основанное на статистике показателей реальных опасностей аварий. Эти важные индикаторы дают информацию о состоянии промышленной безопасности в отрасли. По изменению статистического отраслевого фонового риска аварии целесообразно оценивать достаточность и эффективность организационно-технических мер обеспечения промышленной безопасности и производственного контроля в отрасли, а сравнение этих показателей с расчетными позволит делать выводы о надлежащем исполнении требований промышленной безопасности в рамках законодательных процедур обоснования безопасности, декларирования промышленной безопасности и установления допустимых уровней риска аварии.

Ключевые слова: опасный производственный объект, показатель опасности аварий, риск-ориентированный подход, фоновый риск аварии.

Для цитирования: Печёркин А.С., Гражданкин А.И., Разумняк Н.Л. Тенденции динамики фоновых показателей опасностей аварий на опасных производственных объектах // Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 11. — С. 14–19. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-11-14-19

25-

21 1997 . 116-

«

»

Введение

Сила действенной системы обеспечения безопасности — в знаниях о динамике реальных опасностей. Риск промышленной аварии — это стохастическая мера опасности возникновения аварии на опасных производственных объектах (ОПО). Для развития и практического внедрения риск-ориентированных подходов к обеспечению промышленной безопасности (ПБ) необходимо проводить сравнение ориентиров реальных опасностей по данным статистических наблюдений в разных отраслях за достаточно длительный период времени. Одним из важных риск-ориентиров состояний ПБ может служить уровень фоновой опасности возникновения аварий [1] в отраслевых системах ОПО. По изменению отраслевого фонового риска аварии можно оценивать эффективность обеспечения ПБ на эксплуатируемых ОПО [2–4]. Для проектируемых и реконструируемых ОПО фоновый риск аварии необходим для обоснования безопасности и установления допустимого риска аварии для оценки достаточности основных и дополнительных мер обеспечения безопасности.

Актуальные оценки фоновых уровней аварийных опасностей на опасных производственных объектах

Энерговооруженность производства определяет потенциал возникновения аварий. Если он относительно высок, то требуется создание и обслуживание соответствующих систем обеспечения безопасности на ОПО. Относительно высокий уровень аварийной опасности подтверждается трагическим опытом крупных промышленных аварий, наблюдавшихся в эпоху уже вполне зрелого индустриализма. В России нижний уровень аварийной опасности законодательно определяется объемом обрабатываемых опасных веществ и видом производственной деятельности, что зафиксировано действующим более 25 лет Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»¹ (далее — Федеральный закон № 116-ФЗ) [5, 6].

¹ О промышленной безопасности опасных производственных объектов: федер. закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ. — М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2022. — 52 с.

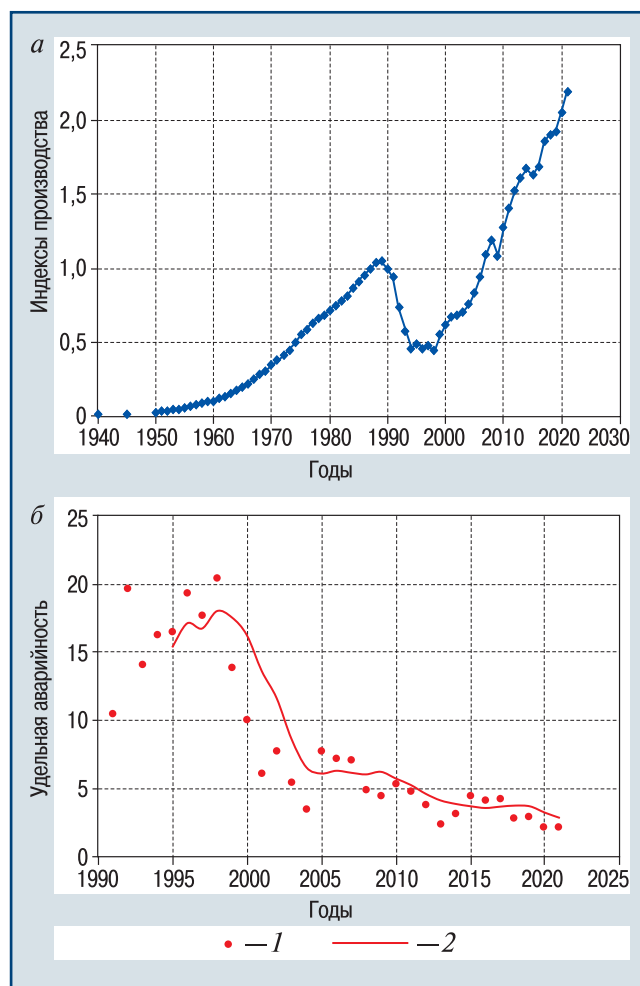
Исторически сложившиеся большие и сложные системы ОПО оказались устойчивы даже в условиях радикальных реформ 1990-х годов, аварийные последствия которых прогнозировались многими экспертами — в основном вследствие сокращения капиталовложений и резкого роста износа основных фондов [7]. Внедрение с помощью Федерального закона № 116-ФЗ адекватных инструментов обеспечения ПБ позволило российской системе опасных производств достаточно быстро адаптироваться к «шоковой терапии» реформы 1990-х годов и выйти на долгосрочный тренд организационно-технологического сокращения аварийных угроз.

Аварийность и травматизм накладывают внецелевые ограничения на производственную деятельность и в большинстве случаев существенно снижают эффективность промышленного производства [8]. Под эффективностью в промышленности обычно понимают соотношение того, что производится, с тем, что вкладывается в производство. Поэтому в сфере ПБ целесообразно рассматривать отношение масштаба производства к размеру аварийных потерь — т.е. недовложений и изъятий из производства, которые могут оцениваться числом фиксируемых аварий и травм, ущербом от аварий и другими параметрами непроектных потерь. Аварийность и травматизм снижают и то, что производится, и то, что вкладывается. А вот насколько эффективно с этим удается справляться системам обеспечения безопасности, показывает динамика аварийности в отраслевых системах ОПО.

Число фиксируемых аварий падало — и до 1990-х годов и после, это некая общеизвестная тенденция индустриального прогресса [9]. Но падало и производство (например, в 1990–1998 гг. добыча угля в шахтах России резко сократилась более чем вдвое — со 178 до 82 млн т) — подробнее [7]. Насколько последовательно изменялись аварийность и производство? При наблюдавшемся промышленном спаде в середине 1990-х годов число аварий должно было бы снижаться, но во многих отраслях промышленности наблюдался рост по удельным показателям «опасности на единицу производства».

В условиях, когда большая технико-социальная система опасных производств претерпевает значительные изменения, статистические сведения о фиксируемом числе аварий и травм становятся малопоказательными, их разброс по годам не показывает тенденций их изменения, что особенно важно при незначительном числе фиксируемых в год аварий на ОПО. Требуется более адекватные индикаторы исследуемых свойств аварийности и травматизма для наблюдения за динамикой проявления техногенных опасностей в условиях изменяющегося по масштабам производства.

Рассмотрена динамика изменения объемов производства, показанная для примера на рис. 1, (здесь для 1990 г. индекс равен 1), где хорошо видны периоды создания и становления (1940–1950-е годы), раз-



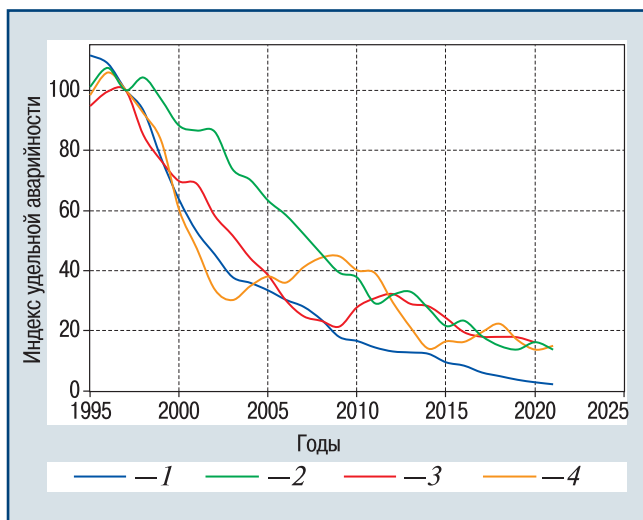
▲ Рис. 1. Индексы производства химической и нефтехимической промышленности РСФСР и Российской Федерации (а) и удельная аварийность в химической и нефтехимической промышленности России (б)

▲ Fig. 1. Chemical and petrochemical industry production indices of the RSFSR (a) and specific accident rate in the chemical and petrochemical industry of Russia (b)

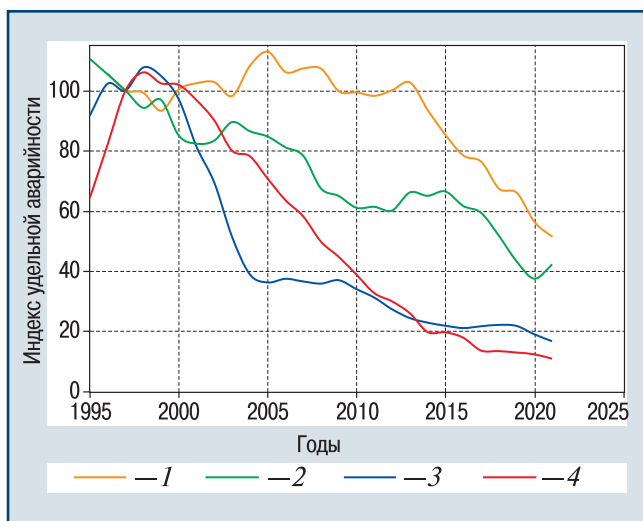
вития (1960–1990-е годы), стагнации (1991–1998-е годы) и реформирования (2000–2010-е годы) российской химической и нефтехимической промышленности. За 30 постсоветских лет это производство вышло на дореформенный тридцатилетний тренд планомерного роста.

В качестве годового показателя состояния ПБ в отрасли можно рассматривать удельную аварийность (число аварий на единицу произведенной продукции в этой опасной производственной отрасли), динамика этого показателя представлена на рис. 1, (здесь 1 — удельная аварийность на 100 млн т произведенной продукции в текущем году; 2 — удельная аварийность на 100 млн т произведенной продукции в среднем за предыдущие 5 лет). Хорошо виден резкий всплеск аварийных опасностей в период резкого спада промышленного производства 1990-х годов. Здесь и далее в качестве исходных использованы официальные данные Ростехнадзора (по числу за-

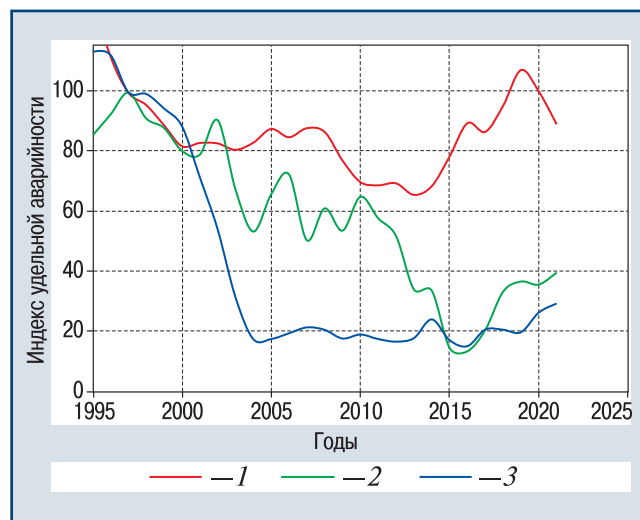
фиксированных аварий и травм) и Росстата (по объему производства). Однако статистический разброс ежегодной удельной аварийности не всегда наглядно выявляет тенденции ее изменения. Для наглядности и возможности сопоставления опасностей различных отраслей промышленности показатели удельной аварийности усреднены (рассчитаны как среднее за 5 предыдущих лет) и представлены в виде кривой (см. рис. 1,). Такой же подход применен на рис. 2–4 (здесь на рис. 2: 1 — угольная промышленность; 2 — горнодобывающие производства; 3 — металлургическая промышленность; 4 — производство, хранение и применение взрывчатых материалов промышленного назначения; на рис. 3: 1 — объекты газораспределения и газопотребления; 2 — нефтедобывающая



▲ Рис. 2. Динамика индексов удельной аварийности на ОПО горно-металлургического комплекса
▲ Fig. 2. Dynamics of the indices of specific accident rate at hazardous production facilities of the mining and metallurgical complex



▲ Рис. 3. Динамика индексов удельной аварийности на ОПО нефтегазового комплекса
▲ Fig. 3. Dynamics of the indices of specific accident rate at hazardous production facilities of the oil and gas complex



▲ Рис. 4. Динамика индексов удельной аварийности на объектах подъемных сооружений, взрывоопасных объектах хранения и переработки зерна, котельных установках, сосудах высокого давления, трубопроводах пара и горячей воды
▲ Fig. 4. Dynamics of specific accident indices at hazardous production facilities of gas distribution and gas consumption, lifting facilities, explosive grain storage and processing facilities, boiler plants, pressure vessels, steam and hot water pipelines

промышленность; 3 — химическая, нефтехимическая и нефтеперерабатывающая промышленность; 4 — магистральный трубопроводный транспорт; на рис. 4: 1 — объекты подъемных сооружений; 2 — взрывоопасные объекты хранения и переработки зерна; 3 — котельные установки, сосуды высокого давления, трубопроводы пара и горячей воды), где усредненные за пятилетний период показатели представлены в виде кривых, отнесенных (приведены в индексной форме) к значениям 1997 г. За 100 условных единиц приняты значения, наблюдавшиеся в год принятия и введения в действие Федерального закона № 116-ФЗ. В остальные годы (см. рис. 2–4) показана динамика индексов удельной аварийности, сотые доли от уровня 1997 г. (для 1997 г. индекс равен 100).

Для ориентира уточним, что в 1997 г. удельная аварийность на ОПО составляла:

- в угольной промышленности — 33 аварии на 100 млн т добытого угля;
- на горнодобывающих производствах — 15 аварий на 1 трлн м³ добытой горной массы;
- в металлургической промышленности — 5 аварий на 100 млн т произведенной продукции;
- в производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения — 10 аварий на 1 млн т расходуемых взрывчатых веществ;
- на нефтегазодобывающих производствах — 17 аварий на 1 млрд т добычи условного топлива;
- на магистральном трубопроводном транспорте — 29 аварий на 1 трлн т·км грузооборота;

в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности — 16 аварий на 100 млн т произведенной продукции;

на объектах газораспределения и газопотребления — 9 аварий на 100 млрд м³ потребляемого газа;

на объектах подъемных сооружений — 7 аварий на 100 тыс. сооружений;

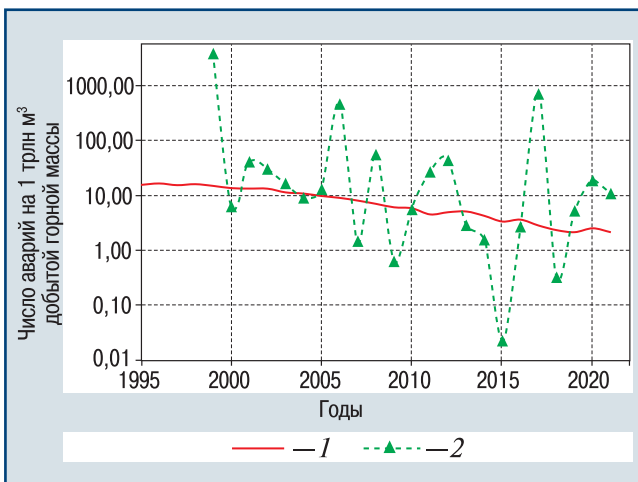
на взрывоопасных объектах хранения и переработки зерна — 4 аварии на 100 млн т собранного зерна;

на котельных установках, сосудах высокого давления, трубопроводах пара и горячей воды — 14 аварий на 1 млрд Гкал распределенной теплоэнергии.

Из рис. 2–4 видно, что тенденция планомерного снижения удельной аварийности оформилась практически сразу после начала реализации положений Федерального закона № 116-ФЗ.

В риск-ориентированном подходе проявления аварийности характеризуются не только частотой возникновения аварий, но и масштабом, т.е. тяжестью последствий [10]. Любая авария уникальна, а эквивалентные ущербы от разных аварий могут различаться на математические порядки чисел.

В сфере ПБ особое внимание уделяется масштабным промышленным авариям [11]. Поэтому целесообразно отнормировать число зафиксированных аварий по масштабу ущербов от них, приняв за условную единицу тяжести аварийных последствий, например, аварию с эквивалентным ущербом в 1500 минимальных размеров оплаты труда (МРОТ). Тогда динамика удельного числа всех фиксируемых и условно тяжелых аварий (на примере горнодобывающей промышленности) будет выглядеть, как на рис. 5 (здесь 1 — общее число аварий на 1 трлн м³ добытой

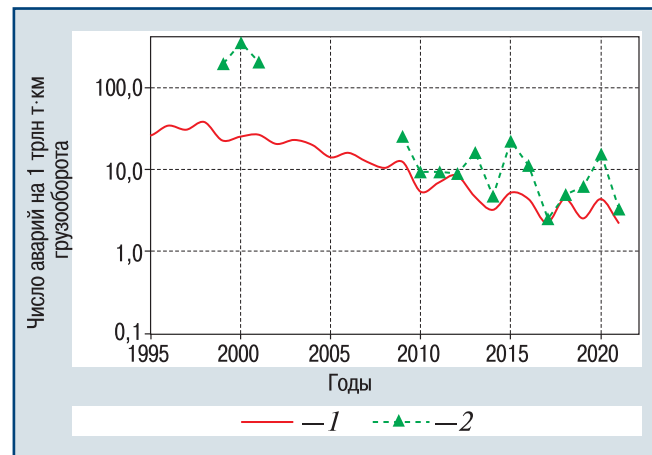


▲ Рис. 5. Динамика общего числа аварий и условного числа масштабных аварий (с ущербом более 1500 МРОТ) в горнодобывающей промышленности (логарифмическая шкала)

▲ Fig. 5. Dynamics of the number of accidents and the conditional number of large-scale accidents (with damage of more than 1500 minimum wage) in the mining industry, accidents per trillion cubic meters of mined rock mass (logarithmic scale)

горной массы; 2 — условное число масштабных аварий на 1 трлн м³ добытой горной массы (с условным ущербом более 1500 МРОТ).

На рис. 5 хорошо видны и отдельные годы, и периоды лет, когда наблюдалось относительно небольшое или значительное увеличение средней тяжести фиксируемых аварий: чем выше отстоит зеленая точка от красной линии, тем чаще фиксировался катастрофичный переход от условно тяжелых аварий к крупным и особо крупным [12, 13]. Для магистральных нефтегазопроводов аналогичное распределение представлено на рис. 6 (здесь 1 — общее число аварий на 1 трлн т·км грузооборота; 2 — число масштабных аварий на 1 трлн т·км грузооборота (с условным ущербом более 1500 МРОТ), а для ОПО металлургической промышленности — на рис. 7 (здесь 1 — общее число аварий на 100 млн т произведенной металлопродукции; 2 — число масштабных аварий на 100 млн т произведенной металлопродукции (с условным ущербом более 1500 МРОТ).



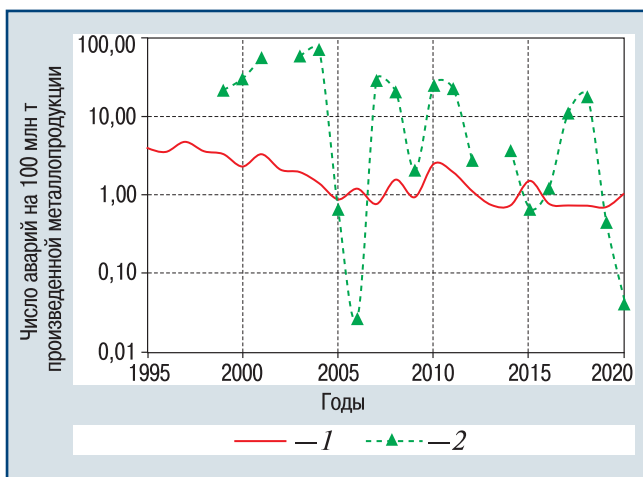
▲ Рис. 6. Динамика общего числа аварий и числа масштабных аварий (с условным ущербом более 1500 МРОТ) на магистральных нефтегазопроводах (логарифмическая шкала)

▲ Fig. 6. Dynamics of the number of accidents and the conditional number of large-scale accidents (with damage of more than 1500 minimum wage) on the main oil and gas pipelines, accidents per trillion t·km of cargo turnover (logarithmic scale)

Отраслевые системы ОПО существенно отличаются технологически, а следовательно, и потенциалами проявлений техногенной аварийности, что наглядно видно на примерах динамики условного числа масштабных аварий на магистральных нефтегазопроводах, опасных производствах горнодобывающей и металлургической промышленности (см. рис. 5–7).

Выводы и заключение

Приведенные в статье тенденции изменения усредненных фоновых уровней риск-ориентированных показателей опасности аварий существенно дополняют традиционные показатели аварийности на опасном производственном объекте, особенно для кризисных



▲ Рис. 7. Динамика общего числа аварий и условно-числа масштабных аварий (с ущербом более 1500 МРОТ) в металлургической промышленности (логарифмическая шкала)

▲ Fig. 7. Dynamics of the number of accidents and the conditional number of large-scale accidents (with damage of more than 1500 minimum wage) in the metallurgical industry, accidents of 100 million tons of manufactured metal products (logarithmic scale)

и переходных периодов технико-экономической реорганизации производств. Традиционные ежегодные абсолютные (статистические) и риск-ориентированные относительные усредненные показатели аварийности совместно формируют новую более адекватную «карту опасностей аварий» отраслевых систем поднадзорных опасных производств. Корректные сравнения с фоновыми уровнями показателей реально фиксируемых опасностей аварий помогут существенно повысить адекватность решений ответственных задач обеспечения промышленной безопасности при разработке обоснований безопасности, деклараций промышленной безопасности, установлении допустимых уровней риска аварии, а также при оценке эффективности производственного контроля для обеспечения защищенности жизненно важных интересов личности и общества от промышленных аварий.

«
»
116-
25

Список литературы

1. *Besserman J., Mentzer R.A.* Review of global process safety regulations: United States, European Union, United Kingdom, China, India// *Journal of Loss Prevention in the Process Industries.* — 2017. — Vol. 50. — P. 165–183. DOI: 10.1016/j.jlp.2017.09.010

2. . . . Фоновые показатели аварийности — индикаторы эффективности введения инструментов регулирования промышленной безопасности// *Безопасность труда в промышленности.* — 2017. — № 5. — С. 5–8. DOI: 10.24000/0409-2961-2017-5-5-8

3. . . . Анализ данных по аварийности на взрывопожароопасных объектах трубопроводного транспорта// *XXIX Междунар. науч.-практ. конф., посвященная 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России.* В 2 ч. Ч. 2. — 2017. — С. 31–33.

4. *Koteswara Reddy G., Yarrakula K.* Analysis of accidents in chemical process industries in the period 1998-2015// *International Journal of ChemTech Research.* — 2016. — Vol. 9. — № 4. — P. 177–191.

5. 20 Федеральному закону № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»/ М.М. Бринчук, А.К. Голиченков, Е.В. Кловач и др.// *Безопасность труда в промышленности.* — 2017. — № 4. — С. 37–45. DOI: 10.24000/0409-2961-2017-4-37-45

6. . . . обеспечению промышленной безопасности тридцать лет/ В.И. Сидоров, А.С. Печёркин, Е.В. Кловач, И.А. Кручинина// *Безопасность труда в промышленности.* — 2020. — № 4. — С. 7–16. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-4-7-16

7. . . . Белая книга: промышленность и строительство в России 1950–2014 гг. — М.: Научный эксперт, ТД Алгоритм, 2016. — 224 с.

8. *A review of the past, present and future of the European loss prevention and safety promotion in the process industries/ E. De Rademaeker, G. Suter, H.J. Pasman, B. Fabiano// Process Safety and Environmental Protection.* — 2014. — Vol. 92. — Iss. 4. — P. 280–291. DOI: 10.1016/j.psep.2014.03.007

9. . . . Российская промышленность и промышленные опасности в переходный период. Аварийность и травматизм деиндустриализации// *Безопасность в техносфере.* — 2013. — Т. 2. — № 6. — С. 64–69.

10. *Towards dynamic risk analysis: a review of the risk assessment approach and its limitations in the chemical process industry/ V. Villa, N. Paltrinieri, F. Khan, V. Cozzani// Safety Science.* — 2016. — Vol. 89. — P. 77–93. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.06.002

11. *Khan F.I., Abbasi S.A.* Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences// *Journal of Loss Prevention in the Process Industries.* — 1999. — Vol. 12. — Iss. 5. — P. 361–378. DOI: 10.1016/S0950-4230(98)00062-X

12. . . . Реализация Конвенции ЕЭК ООН «О трансграничном воздействии промышленных аварий»// *Безопасность труда в промышленности.* — 2018. — № 4. — С. 49–56. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-4-49-56

13. . . . Специфика анализа и оценок показателей риска редких событий на опасных производственных объектах// *Научно-технический сборник «Вести газовой науки».* — 2020. — № 1 (42). — С. 84–95.

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2022, № 11, pp. 14–19.
DOI: 10.24000/0409-2961-2022-11-14-19

Trends in the Dynamics of Background Indicators of Accident Hazards at Hazardous Production Facilities

A.S. Pecherkin, Dr. Sci. (Eng.), Prof., First Deputy General Director

A.I. Grazhdankin, Dr. Sci. (Eng.), Department Head,
gra@safety.ru

N.L. Razumnyak, Dr. Sci. (Eng.), Lead Researcher
STC «Industrial Safety» CJSC, Moscow, Russia

Abstract

For the constructive implementation of a risk-oriented approach in the field of ensuring industrial safety, the real guidelines are needed for the existing hazards of accidents, as well as the achieved and desired level of ensuring industrial safety. One of the important indicators of the industrial safety state can be the background risk of accidents, which is recorded not at a separate hazardous production facility, but in the branch systems of hazardous industries. By changing the ratio of the background risk of an accident in the industry and at a specific supervised facility, one can judge the status and the efficiency of industrial safety management systems at an operating hazardous production facility. A hazardous production facility, as the main source of knowledge about hazards and the application of forces in the field of ensuring industrial safety, has the distinctive properties of both «hazard» and «productivity». To assess the state of safety at a hazardous production facility, special indicators are required that show the interaction of the properties of «hazard» and «productivity». The article presents the trends in the proposed indicators of accident hazard in certain industries over the past 25 years. These indicators do not cancel, but only supplement the traditional indicators of accidents and injuries allowing to assess the risk of accidents in the transitional and crisis periods. The background risk of an accident is a representative indicator for assessing the efficiency of using both traditional control and supervision approaches and mastering modern risk-oriented approaches to industrial safety regulation.

Key words: hazardous production facility, accident hazard indicator, risk-oriented approach, background accident risk.

References

1. Besserman J., Mentzer R.A. Review of global process safety regulations: United States, European Union, United Kingdom, China. India. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2017. Vol. 50. pp. 165–183. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jlp.2017.09.010>
2. Pecherkin A.S., Grazhdankin A.I. Background Indicators of Accident Rate — Indicators of Efficiency of Introduction of Instruments for Industrial Safety Regulation. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2017. № 5. pp. 5–8. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2017-5-5-8

3. Sumskey S.I., Lisanov M.V., Lisanov A.M. Analysis of data on accident rate at explosive and fire hazardous pipeline transport facilities. *XXIX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennaya 80-letiyu FGBU VNIPO MChS Rossii* (29th International scientific-practical conference dedicated to the 80th anniversary of the FGBU VNIPO EMERCOM of Russia). In 2 parts. Pt. 2. 2017. pp. 31–33. (In Russ.).

4. Koteswara Reddy G., Yarrakula K. Analysis of accidents in chemical process industries in the period 1998–2015. *International Journal of ChemTech Research*. 2016. Vol. 9. № 4. pp. 177–191.

5. Brinchuk M.M., Golichenkov A.K., Klovach E.V., Krasnykh B.A., Sidorov V.I. 20 Years to the Federal Law № 116-FL «On Industrial Safety of Hazardous Production Facilities». *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2017. № 4. pp. 37–45. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2017-4-37-45

6. Sidorov V.I., Pecherkin A.S., Klovach E.V., Kruchini-na I.A. Scientific Support for Industrial Safety is Thirty Years. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2020. № 4. pp. 7–16. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2020-4-7-16

7. Grazhdankin A.I., Kara-Murza S.G. White Book: Industry and Construction in Russia for 1950–2014. Moscow: Nauchnyy ekspert, TD Algoritm, 2016. 224 p. (In Russ.).

8. De Rademaeker E., Suter G., Pasman H.J., Fabiano B. A review of the past, present and future of the European loss prevention and safety promotion in the process industries. *Process Safety and Environmental Protection*. 2014. Vol. 92. Iss. 4. pp. 280–291. DOI:10.1016/j.psep.2014.03.007

9. Grazhdankin A.I., Pulikovskiy K.B. Russian Industry and Industrial Dangers in Transition Period. Accident Rate and Traumatism of Deindustrialization. *Bezopasnost v tekhnosfere = Safety in Technosphere*. 2013. Vol. 2. № 6. pp. 64–69. (In Russ.).

10. Villa V., Paltrinieri N., Khan F., Cozzani V. Towards dynamic risk analysis: a review of the risk assessment approach and its limitations in the chemical process industry. *Safety Science*. 2016. Vol. 89. pp. 77–93. DOI:10.1016/j.ssci.2016.06.002

11. Khan F.I., Abbasi S.A. Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 1999. Vol. 12. Iss. 5. pp. 361–378. DOI:10.1016/S0950-4230(98)00062-X

12. Klovach E.V., Rubach E.A., Baranovskiy E.V. Implementation of the UNECE Convention on Transboundary Effects of Industrial Accidents. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2018. № 4. pp. 49–56. (In Russ.). DOI: 10.24000/0409-2961-2018-4-49-56

13. Bochkov A.V., Safonov V.S. Special analysis and assessment of risk indicators for rare events in regard to dangerous industrial facilities. *Nauchno-tehnicheskii sbornik Vesti gazovoy nauki = Scientific-Technical Collection book*. 2020. № 1 (42). pp. 84–95. (In Russ.).

Received November 21, 2022

