

ТРЕНДЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

БУРЦЕВА Мария Юрьевна

магистрант

Российский государственный аграрный университет – МСХА

им. К.А. Тимирязева

ИВАНОВ Святослав Николаевич

ассистент кафедры Техносферной безопасности

Российский государственный аграрный университет – МСХА

им. К.А. Тимирязева

Российский Государственный Социальный Университет

Научный руководитель: **ЗАХАРОВА Елена Анатольевна**

кандидат биологических наук

г. Москва. Россия

В работе выполнен анализ динамики аварий на опасных производственных объектах нефтегазохимической отрасли, на территории России, на основе временных рядов, сезонной декомпозиции и статистических методов. Проведена идентификация долгосрочных трендов, сезонных эффектов и типовых «узких мест» по видам технологических процессов. Результаты анализа показывают устойчивое снижение аварийности за период 2015-2024 гг. при сохранении выраженной сезонности и концентрации происшествий в ограниченном числе процессов. Полученные выводы могут быть использованы для совершенствования риск-ориентированных подходов к управлению промышленной безопасностью на макроуровне.

Ключевые слова: опасные производственные объекты; ОПО; нефтегазохимическая отрасль; аварийность; анализ; тренды; сезонность.

Целью исследования является выявление долгосрочных тенденций и закономерностей возникновения аварий на опасных производственных объектах нефтегазохимической отрасли РФ, включая анализ сезонных факторов и структурных «узких мест».

Нефтегазохимическая отрасль характеризуется повышенным уровнем техногенных рисков вследствие обращения с горючими, взрывоопасными и токсичными веществами, эксплуатации оборудования при высоких давлениях и температурах, а также износа части производственных фондов. Даже единичные аварии на ОПО могут приводить к тяжёлым последствиям для персонала, окружающей среды и устойчивости производственных процессов. Несмотря на развитие нормативно-правового регулирования, внедрение автоматизированных систем контроля и цифровых технологий, аварийность на нефтегазохимических ОПО сохраняет системный характер. В этой связи анализ динамики аварийности приобретает особое значение, поскольку позволяет выявлять не только общий уровень риска, но и устойчивые закономерности его формирования [4, с. 41].

Анализ временной динамики аварийности позволяет выявлять устойчивые тренды, сезонные закономерности и критические точки, формируя аналитическую основу для риск-ориентированного управления промышленной безопасностью.

Методика. В исследовании использован статистический подход к анализу аварийного риска, основанный на обработке ретроспективных данных. Анализ включал [1, с. 18; 5, с. 30].:

- временной анализ с применением скользящих средних и STL-декомпозиции для выделения трендовой и сезонной составляющих;
- статистическую проверку значимости трендов с использованием теста Манна–Кендалла и t-тестов для сравнения временных периодов;
- частотный анализ аварийных сценариев и классификацию происшествий по технологическим процессам с целью выявления «узких мест».

Результаты. За анализируемый период 2015-2024 гг. зафиксировано снижение аварийности на 84,81 %, что свидетельствует о существенном сокращении частоты происшествий и формировании долгосрочной положительной динамики. Стоит также отметить, что количество зарегистрированных ОПО с каждым годом увеличивается. Числовые значения аварий по годам приведены в таблице 1.

Таблица 1.

КОЛИЧЕСТВО АВАРИЙ ЗА ПЕРИОД 2015-2024 ГГ.

Год	Число аварий	Год	Число аварий
2015	79	2020	42
2016	58	2021	38
2017	78	2022	36
2018	48	2023	21
2019	53	2024	12

Линейная аппроксимация временного ряда описывается уравнением:

$$y = -7,1273x + 85,127, (1)$$

при этом отрицательное значение коэффициента наклона означает, что в среднем количество аварий ежегодно сокращалось на ≈ 7 единиц. Высокое значение коэффициента детерминации ($R^2 > 0,91$) указывает на то, что более 90 % вариации показателя объясняется именно выявленным трендом, а влияние случайных факторов носит ограниченный характер. На рисунке 1 показана динамика происшествий в нефтегазохимической отрасли за последние 10 лет.

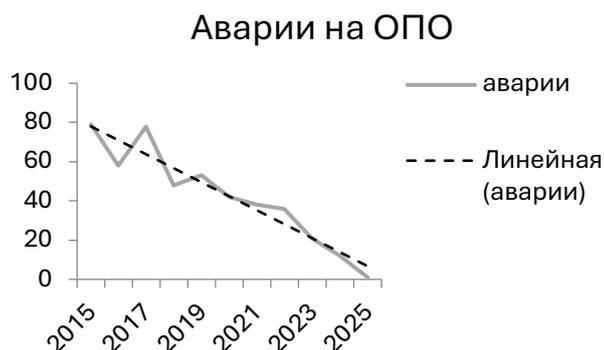


Рисунок 1. Статистика аварийности по годам [составлено автором]

Дополнительное подтверждение устойчивости полученных результатов обеспечивается анализом скользящих средних. Значения показали последовательное уменьшение при увеличении окна усреднения. Такая конфигурация характерна для устойчивого долгосрочного нисходящего тренда и свидетельствует о том, что снижение аварийности сохраняется независимо от краткосрочных колебаний, связанных с отдельными неблагоприятными годами.

STL-декомпозиция выявила выраженную сезонность: максимальное число аварий приходится на зимний период, с пиком в январе (рис. 2-3). Для нефтегазохимических объектов данная закономерность может быть обусловлена сочетанием повышенных нагрузок на оборудование в условиях низких температур, увеличением числа пуско-наладочных операций, а также ростом психофизиологической нагрузки на персонал в конце календарного года. Это подтверждает необходимость учёта сезонных факторов при планировании работ повышенной опасности и технического обслуживания оборудования [2, с. 471; 3, с. 86].

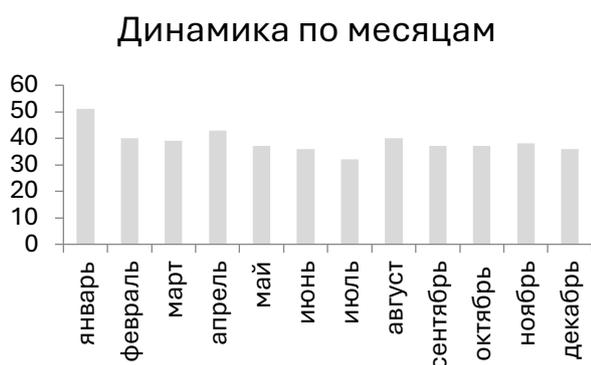


Рисунок 2. Статистика аварийности по месяцам за весь период [составлено автором]

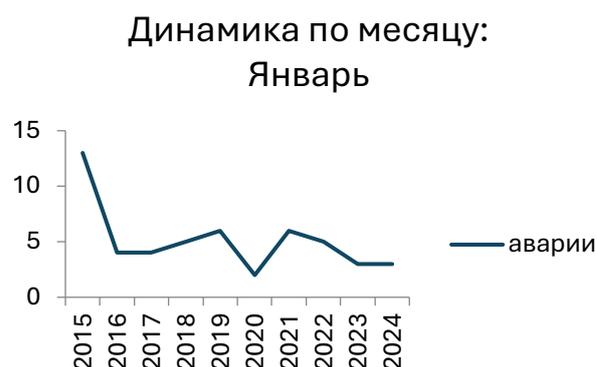


Рисунок 3. Статистика аварийности по месяцу январь [составлено автором]

Несмотря на общий нисходящий тренд, показатели аварийности характеризуются высокой вариабельностью, что указывает на нестабильность отдельных факторов риска. Тест Манна–Кендалла подтвердил статистическую значимость выявленного тренда ($p < 0$) [7, с. 246].

Для количественной оценки риска использовался показатель интенсивности аварийности по объектам, определяемый как отношение числа аварий к количеству эксплуатируемых опасных производственных объектов:

$$R_0 = \frac{N_a}{N_{opo}}, \quad (2)$$

где N_a – количество аварий за период, N_{opo} – количество, эксплуатируемых ОПО за период [1, с. 64; 6, с. 7].

Относительное снижение интенсивности аварийности составило:

$$\Delta R_o = \frac{R_{o1} - R_{o2}}{R_{o1}} \cdot 100\% \approx 91,35\% \quad (3)$$

Структурный анализ показал, что около 18 % всех аварий концентрируется во время эксплуатации ОПО (рис. 3). Наиболее частыми причинами происшествий являются выполнение работ повышенной опасности и деградацией технического состояния оборудования, в частности коррозионными процессами. Стоит отметить, что происшествия по данным процессам происходят по чаще всего по причине человеческого фактора [2, с. 471; 3, с. 86].

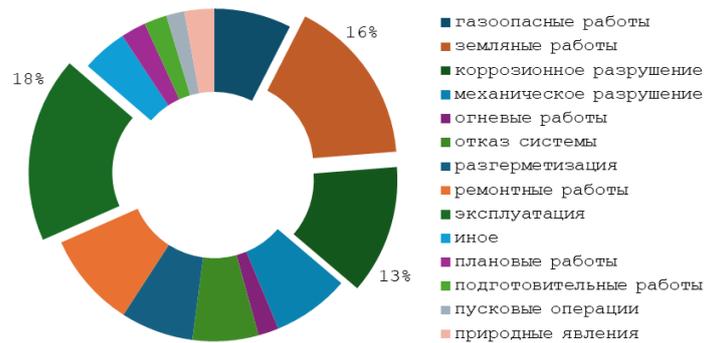


Рисунок 4. Статистика аварий по процессам [составлено автором]

Несмотря на незначительный рост числа эксплуатируемых опасных производственных объектов, интенсивность аварийности на один объект снизилась приблизительно на 91,35 %, что указывает на реальное снижение уровня аварийного риска, а не на формальное уменьшение абсолютного числа происшествий. Полученный результат подтверждает эффективность реализуемых мер в области промышленной безопасности и подчёркивает корректность использования нормированных показателей при межвременном сравнении уровней риска.

Выводы. Проведённый анализ выявил устойчивое снижение аварийности на опасных производственных объектах нефтегазохимической отрасли при сохранении сезонных пиков и концентрации аварий в ограниченном числе технологических процессов. Полученные результаты подтверждают необходимость адаптивного планирования работ повышенной опасности, усиления профилактических мероприятий в зимний период и развития систем раннего выявления отказов. Повышение уровня культуры безопасности и внедрение мониторинга психофизиологического состояния персонала рассматриваются как ключевые направления снижения влияния человеческого фактора на аварийность.

Предложенный аналитический подход демонстрирует эффективность применения методов временного и частотного анализа для оценки и прогнозирования аварийности на ОПО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безбородова О.Е. Анализ и оценка риска опасных производственных объектов: учебное пособие. — М.: Академия, 2018. — 256 с.
2. Бурцева М.Ю. Современные подходы психофизиологической диагностики работников нефтегазовой отрасли / М. Ю. Бурцева, В. Г. Борулько // Интеллектуальные технологии и инновационные подходы в нефтепереработке и нефтехимии: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Салават, 09–13 декабря 2024 года. – Уфа: УНПЦ «Издательство УГНТУ», 2024. – С. 471-474.
3. Бурцева М.Ю. Психофизиологическая диагностика как инструмент обеспечения безопасности работников / М. Ю. Бурцева, Е. А. Захарова // Безопасность – 2025 : Материалы XXX Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием, Иркутск, 23–25 апреля 2025 года. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2025. – С. 86-88.
4. Ключев В.В., Резников Д.О. Управление промышленной безопасностью в нефтегазохимическом комплексе: учебное пособие. – СПб.: Лань, 2019. – 240 с.
5. Kendall M.G. Rank Correlation Methods. – London : Griffin, 1975. – 202 p.
6. Khan F., Amyotte P., DiMattia D. Dynamic risk-based inspection in the process industry // Safety Science. – 2020. – Vol. 124. – 104561.
7. Mann H.B. Nonparametric tests against trend // Econometrica. – 1945. – Vol. 13, No. 3. – P. 245–259.
8. OECD. Corporate Governance and Industrial Safety in High-Risk Industries. – Paris : OECD Publishing, 2020. – 69 p.
9. Zhang Y., Chen G., Reniers G. Accident analysis and risk assessment in the oil and gas industry: A systematic review // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2021. – Vol. 71. – Article 104450.

TRENDS AND REGULARITIES OF ACCIDENTS AT DANGEROUS PRODUCTION FACILITIES

BURTSEVA Maria Yurievna

Master's Student

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy

named after K.A. Timiryazev

IVANOV Svyatoslav Nikolaevich

Assistant of the Department of Technosphere Safety

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy

named after K.A. Timiryazev

Russian State Social University

Scientific supervisor: **ZAKHAROVA Elena Anatolyevna**

Candidate of Biological Sciences

Moscow, Russia

The paper analyzes the dynamics of accidents at hazardous production facilities in the oil and gas chemical industry in Russia, using time series, seasonal decomposition, and statistical methods. It identifies long-term trends, seasonal effects, and typical bottlenecks by type of technological process. The analysis results show a steady decrease in accidents over the period 2015-2024, while maintaining a pronounced seasonal pattern and a concentration of incidents in a limited number of processes. The findings can be used to improve risk-based approaches to industrial safety management at the macro level.

Keywords: hazardous production facilities; HPF; oil and gas chemical industry; accidents; analysis; trends; seasonality.