

Труфанова П.С., Едыгеева А.Т., Кулиш Н.В.

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия

E-mail: tttrufanova@gmail.com

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РИСКА НА ОБЪЕКТАХ ПОДЗЕМНОГО ХРАНЕНИЯ ГАЗА НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Для оценки и расчета риска возникновения аварий на нефтегазовом предприятии, в частности на объектах подземного хранения газа применяются математические методы. Многообразие математических методов приводит к проблеме выбора наиболее удобного и практичного метода для подсчета риска возникновения аварий специалистом. В нашем исследовании решение проблемы достигалось путем анализа количественных методов, основанных на математике, и качественных методов. Методы подбирались в соответствии с выбранными нами факторами, критериями оценивания. Ключевым фактором при выборе методов для оценивания являлась универсальность методов, а именно возможность их применения не только для объектов подземного хранения газа, но и для других объектов нефтегазовой отрасли, а также для других отраслей производства. Другим важным фактором при выборе методов авторы исследования выделили точность метода при рассмотрении влияния системы факторов на объект нефтегазового предприятия. Также при сравнении методов был выбран фактор наличия математических расчетов в том или ином качественном и количественном методе оценки риска возникновения аварий на объекте нефтегазовой отрасли. Для решения поставленной проблемы использовались логические методы, составление сравнительной таблицы, анализ полученной сравнительной таблицы, а также обзор литературных источников по теме исследования. Самыми универсальными и многофункциональными из данных методов являются качественный метод системного подхода и количественный метод ряда расчетных показателей.

Ключевые слова: математические методы, оценка рисков, качественные методы, количественные методы, нефтегазовое предприятие, объекты хранения газа, производственные факторы, аварии, подземное хранение газа, риск возникновения аварий.

Trufanova P.S., Edygeeva A.T., Kulish N.V.

Orenburg State University, Orenburg, Russia

E-mail: tttrufanova@gmail.com

MATHEMATICAL METHODS FOR RISK ASSESSMENT AT UNDERGROUND GAS STORAGE FACILITIES OF THE OIL AND GAS INDUSTRY

To assess and calculate the risk of accidents at an oil and gas enterprise, in particular at underground gas storage facilities, mathematical methods are used. The variety of mathematical methods leads to the problem of choosing the most convenient and practical method for calculating the risk of accidents by a specialist. In our study, the solution to the problem was achieved by analyzing quantitative methods based on mathematics and qualitative methods. The methods were selected in accordance with our chosen factors and evaluation criteria. The key factor when choosing methods for assessment was the versatility of the methods, namely the possibility of their application not only for underground gas storage facilities, but also for other facilities in the oil and gas industry, as well as for other industries. The authors of the study identified the accuracy of the method as another important factor when choosing methods when considering the influence of a system of factors on the object of an oil and gas enterprise. Also, when comparing methods, the factor of the presence of mathematical calculations in one or another qualitative and quantitative method for assessing the risk of accidents at an oil and gas industry facility was selected. To solve the problem, logical methods, compilation of a comparative table, analysis of the resulting comparative table, as well as a review of literature sources on the research topic were used. The most universal and multifunctional of these methods are the qualitative method of the systems approach and the quantitative method of a number of calculated indicators.

Key words: mathematical methods, risk assessment, qualitative methods, quantitative methods, oil and gas enterprise, gas storage facilities, production factors, accidents, underground gas storage, risk of accidents.

Согласно данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (далее Ростехнадзор) [1] в период с 2016 по 2020 годы на объектах магистрального трубопроводного транспорта и подземного хранения газа нефтегазовой отрасли произошло 47 аварий. Статистические данные по выбранному объекту представлены в таблице 1. Как видно из таблицы 1 множество факторов влияют на безопасную эксплуатацию объектов подземного хранения газа, среди них можно выделить: коррозия металла трубы, неисправность и износ оборудования, брак строительства или изготовления и ошибочные действия персонала при эксплуатации и ремонте. Таким образом, проблема оценки риска на предприятии является значимой, поскольку вследствие существования множества математических методов специалист нуждается в рекомендациях при выборе метода, который охватывает наибольшее количество неблагоприятных производственных факторов.

Авторы статьи изучили существующие математические методы оценки риска. Выяснилось, что большинство рассмотренных методов не учитывают комплексного влияния нескольких факторов на объект, их расчеты основаны на влиянии одного фактора.

Для нас интерес представляли методы, которые учитывают факторы риска в комплексе.

Также с данным исследованием будет интересно познакомиться обучающимся направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» (промышленная безопасность и производственный контроль), так как их рабочим планом предусмотрено изучение дисциплин «Основы теории надежности», «Коррозия и защита от коррозии» и «Модели и методы расчета надежности технических систем».

Целью данного исследования является изучение и проведение сравнительного анализа математических методов при расчете риска возникновения аварий на объектах подземного хранения газа. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- провести литературный анализ существующих математических методов и моделей, используемых для оценки риска на объектах подземного хранения газа на предприятии;
- составить сравнительную таблицу критериев оценивания методов;
- провести анализ методов по сравнительной таблице;
- выделить наиболее универсальные методы.

В настоящее время существуют два подхода оценки риска на нефтегазовом предприятии: качественный и количественный. Качественный подход заключается в определении факторов риска и этапов работы при анализе

Таблица 1 – Распределение аварий на ОПО, произошедших в 2016–2020 годах, по видам аварий на объектах магистрального трубопроводного транспорта и подземного хранения газа

Виды аварий	Количество аварий									
	2016 г.		2017 г.		2018 г.		2019 г.		2020 г.	
		%		%		%		%		%
Конструктивные недостатки	0	0	1	16,6	0	0	0	0	0	0
Брак строительства / изготовления	4	36	0	0	0	0	0	0	3	27
Коррозия металла трубы	6	55	4	66,8	0	0	0	0	0	0
Ошибочные действия персонала при эксплуатации и ремонте	0	0	0	0	0	0	2	29	1	9
Неисправность и износ оборудования	0	0	0	0	10	84	5	71	6	55
Воздействие стихийных явлений природного происхождения	0	0	0	0	1	8	0	0	0	0
Механическое воздействие	1	9	0	0	1	8	0	0	1	9
Несанкционированные врезки	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Нарушение порядка проведения опасных работ	0	0	1	16,6	0	0	0	0	0	0
Всего:	11	100	6	100	12	100	7	100	11	100

аварий, но не предоставляет конкретной количественной оценки этих рисков и точных числовых данных о вероятности возникновения аварий и их последствий. Он помогает определить, какие потенциальные риски могут возникнуть и какие шаги следует предпринять для их исчезновения.

Количественный подход решает данную проблему путем определения числовых и вероятностных характеристик рисков. Он позволяет количественно измерить вероятность возникновения рисков и оценить их потенциальные опасности. Такой подход позволяет проводить более точный анализ риска и принимать более обоснованные управленческие решения.

Среди рассмотренных качественных методов, можно выделить:

- использование диаграмм;
- системный подход;
- метод экспертных оценок;
- реестр рисков.

В качестве примера в данном исследовании рассмотрены диаграммы Исикавы (рисунок 1), которые позволяют выявить комплексные источники возникновения опасных ситуаций. Такие диаграммы можно применять для любых предприятий, поскольку они универсальны. Следующим достоинством таких диаграмм является их возможность учитывать не только риски в области охраны труда, но и возможные финансовые, юридические и другие потери.

Метод системного подхода представляет собой разветвленную блок-схему (рисунок 2). Данный способ позволяет определить порядок действий для методики реагирования на возможное возникновение аварий, а также выявить и устранить слабые места в охране труда сотрудников данного предприятия.

При методе экспертных оценок сравниваются факторы (в том числе факторы среды) на основе индивидуальной системы оценивания для каждого предприятия. Полученные значения заносятся в таблицу, по данным которой составляется матрица. На основе результатов матрицы выделяются факторы наиболее опасные для трудовой деятельности работников.

Многие предприятия создают реестр рисков для сохранения информации о несчастных случаях и опасных ситуациях, произошедших на территории данного предприятия. Исходя из этого реестра, информация в котором должна постоянно обновляться для результативности, выносятся проблемы в области охраны труда.

Из количественных методов, которые основаны на математических моделях, выделим:

- ряд расчетных показателей;
- подсчет суммарного риска;
- выявление профпригодности сотрудников.

Вычисление ряда расчетных показателей производится по формуле, представленной в работе Зиновьевой А.А. «Анализ моделей промышленных рисков на нефтегазовом предприятии» [2]. Показатели позволяют проана-



Рисунок 1 – Диаграмма Исикавы

лизировать количество несчастных случаев и провести мероприятия по их предотвращению.

Метод «суммарный риск» состоит из нескольких составляющих, просуммированных между собой. Для унификации оценивания вводится балльная шкала оценки каждого показателя риска [2]. Таким образом по стобалльной шкале можно процентно выяснить насколько опасен тот или иной риск для сотрудников предприятия.

Метод «оценки профессиональной пригодности сотрудников» (человеческого фактора) основан на нескольких показателях, значения которых выявляются посредством проведения тестирования на территории производства [3].

Сравнительный анализ рассмотренных методов оценки риска производится по следующим критериям:

- универсальность – это метод действителен и уместен при любых аварийных ситуациях (оценивание с помощью балльной системы);
- простота – легкость в восприятии (оценивание с помощью балльной системы);

– визуальное отображение – удобное графическое представление (оценивание с помощью балльной системы);

– выделение основных рисков – обозначение конкретных рисков из комплекса угроз безопасности (оценивание с помощью балльной системы);

– наличие причинно-следственных связей – логическое объяснение причин возникновения той или иной аварии (оценивание по наличию);

– наличие особенных квалификаций – необходимость новых узконаправленных кадров (оценивание по наличию);

– наличие математических расчетов – проведение арифметических вычислений с помощью данных формул (оценивание по наличию).

Оценивание критериев сравнения: «0» – отсутствие эффективности, «1» – низкая эффективность, «2» – средняя эффективность критерия, «3» – высокая эффективность, «+» – плюс, наличие какого-либо критерия, «-» – минус, отсутствие какого-либо критерия.



Рисунок 2 – Системный подход в виде блок-схемы

Таблица 2 – Сравнительная таблица методов оценки на ОПО

	Универсальность	Простота	Визуальное отображение	Выделение основных рисков	Наличие причинно-следственных связей	Наличие особых квалификаций	Наличие математических расчетов
Диаграмма Исикавы	1	3	2	1	+	-	-
Системный подход	2	3	3	2	+	-	-
Метод экспертных оценок	2	2	2	3	-	+	+
Реестр рисков	2	0	1	3	-	+	-
Ряд расчетных показателей	3	3	0	3	-	+	+
Суммарный риск	2	3	0	1	-	+	+
Регрессивная модель	1	3	0	1	-	+	+

Данные по сравнению количественных и качественных методов оценки риска представлены в таблице 2.

В результате анализа сравнительной таблицы авторы исследования пришли к следующим выводам:

1. Диаграмма Исикавы отличается простотой, удобством визуального считывания информации о комплексном влиянии риска возникновения опасных ситуаций на охрану труда предприятия и необязательностью наличия особых кадров для ее составления, однако он не универсален, поскольку не выявляет отдельные риски.

2. Универсальным является метод системного подхода, потому что он сочетает в себе простоту отображения информации и выявление основных рисков.

3. Метод экспертных оценок не является простым, поскольку для его составления и расчетов необходима особая квалификация сотрудников, но при этом он выделяет как основные, так и комплексные риски, и четко указывает на недостаток эффективности системы охраны труда.

4. Для реестра рисков необходима особая квалификация сотрудников, поэтому его составление отличается высокой сложностью. Преимуществом является то, что он точно указывает на основные риски из комплекса, на которые стоит обратить внимание для повышения безопасности на предприятии.

5. Ряд расчетных показателей – это универсальный и простой метод для оценки травматизма на территории предприятия.

6. Суммарный риск прост в вычислении, но не выявляет основные риски, а рассматривает их в комплексе.

7. Оценка профпригодности проводится с помощью регрессивной модели, которая является простой, но не универсальной и не выявляет основные риски, потому что оценивает только влияние человеческого фактора.

Самыми универсальными и многофункциональными из данных методов являются качественный метод системного подхода и количественный метод ряда расчетных показателей. С их помощью можно рассмотреть как и отдельные опасные факторы, влияющие на трудовую деятельность, так и суммарный риск.

Цель исследования была достигнута путем решения следующих задач: проведения литературного анализа, составления сравнительной таблицы, анализа данной таблицы и выделения наиболее универсальных математических методов.

В связи с развитием технологий существует возможность усовершенствования методов оценки риска на предприятии с помощью искусственного интеллекта и нейросетей, что позволит исключить влияние человеческого фактора при расчетах. Поэтому область изучения данной темы будет расширяться.

15.01.2024

Список литературы:

1. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека [сайт]: реестры – URL: <https://www.rospotrebnadzor.ru/> (дата обращения 01.12.2023)
2. Зиновьева, А.А. Анализ моделей промышленных рисков на нефтегазовом предприятии / А.А. Зиновьева // Человек. Знак. Техника. – Самара: Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, 2022. – С. 36–42.
3. Испанбетов, Т.К. Вопросы методологии оценки производственных рисков на предприятиях нефтегазовой отрасли / Т.К. Испанбетов // Актуальные проблемы экономики и управления на предприятиях машиностроения, нефтяной и газовой промышленности в условиях инновационно-ориентированной экономики. – 2014. – Т. 1. – С. 60–65.
4. Максименко, В.Н. Основные подходы к анализу и оценке рисков информационной безопасности / В.Н. Максименко // Экономика и качество систем связи. – 2017. – №2.
5. Мельникова, Д.А. Теоретические и практические аспекты построения системы управления промышленной безопасностью на опасных производственных объектах (на примере ООО «Газпром Трансгаз Самара»): дис. ... канд. техн. наук. / Д.А. Мельникова. – Самара, 2016. – 120 с.
6. Тымуль, Е.И. Выбор метода качественного и количественного анализа рисков для предприятий энергетики / Е.И. Тымуль // Наука и техника. – 2021. – № 1. – С. 83–90.
7. Комзолов, А.А. Количественная оценка профессиональных рисков на основе определения затрат на обеспечение жизни и здоровья работников / А.А. Комзолов, Т.В. Кириченко, В.Д. Бархатов, М.В. Манежева // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. – 2023. – Т. 58, № 5. – С. 134–161. – DOI 10.55959/MSU0130-0105-6-58-5-7. – EDN LDCSRS.
8. Ефремов, С.В. Разработка подхода к оценке эффективности управления профессиональными рисками / С.В. Ефремов, А.И. Ульянов, А.Г. Ульянова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11, № 4(60). – С. 233–237. – DOI 10.46548/21vek-2022-1160-0036. – EDN ZMSYBM.
9. Черный К.А. Методологические проблемы проведения оценки профессиональных рисков на горнорудных предприятиях и их решение / К.А. Черный, Г.З. Файнбург, Е.А. Розенфельд // Недропользование. – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 193–200. – DOI 10.15593/2712-8008/2021.4.8. – EDN NRCVFT.
10. Мартынов, И.С. Зависимость безопасности работников АПК от оценки профессиональных рисков / И.С. Мартынов, В.Ю. Мисюряев, М.А. Садовников, Е.Ю. Гузенко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 2(50). – С. 355–362. – EDN YQTCJV.
11. Баландович, Б.А. Методические подходы к проведению комплексной оценки охраны труда и производственной безопасности на современном предприятии / Б.А. Баландович, А.И. Мартыненко, С.В. Широкоступ [и др.] // Заметки ученого. – 2021. – № 11-1. – С. 237–243. – EDN DPODKN.
12. Садовников, М.А. Роль системы оценки профессиональных рисков в системе управления охраной труда в организации / М.А. Садовников, Г.Г. Попов, Д.В. Семин, А.А. Рыжкова // Вестник аграрной науки Дона. – 2019. – № 4(48). – С. 102–107. – EDN LWWBJB.
13. Гончарук, Т.Н. Анализ культуры безопасности с целью минимизации производственного травматизма / Т.Н. Гончарук // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11, № 3(59). – С. 210–217. – DOI 10.46548/21vek-2022-1159-0033. – EDN ZRMFRU.
14. Ваулин, В.И. Теоретические основы подготовки студентов в области безопасности жизнедеятельности / В.И. Ваулин // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Философия. Психология. Педагогика. – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 212–215. – DOI 10.18500/1819-7671-2019-19-2-212-215. – EDN ITUYIW.
15. Буланова, А.В. Значение оценки профессиональных рисков в системе управления охраной труда / А.В. Буланова, С.Л. Пущенко, Е.В. Стасева // Безопасность техногенных и природных систем. – 2019. – № 1. – С. 2–7. – DOI 10.23947/2541-9129-2019-1-2-7. – EDN YXBVLN.

References:

1. Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare: registers. URL: <https://www.rospotrebnadzor.ru/> (accessed 12/01/2023)
2. Zinovieva A.A. (2022) Analysis of industrial risk models at an oil and gas enterprise. *Man. Sign. Technique*. Samara: Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, pp. 36–42.
3. Ispanbetov T.K. (2014) Issues of methodology for assessing production risks at enterprises of the oil and gas industry. *Current problems of economics and management at enterprises of mechanical engineering, oil and gas industry in an innovation-oriented economy*, vol. 1, pp. 60–65.
4. Maksimenko V.N. (2017) Basic approaches to the analysis and assessment of information security risks. *Economics and quality of communication systems*, No. 2.
5. Melnikova D.A. (2016) *Theoretical and practical aspects of building an industrial safety management system at hazardous production facilities (using the example of Gazprom Transgaz Samara LLC)*. PhD Dissertation, 120 p.
6. Tymul E.I. (2021) Selection of a method for qualitative and quantitative risk analysis for energy enterprises. *Science and technology*, No. 1, pp. 83–90.
7. Komzolov A.A., Kirichenko T.V., Barkhatov V. D. and Manezheva M.V. (2023) Quantitative assessment of professional risks based on determining the costs of ensuring the life and health of workers. *Bulletin of Moscow University. Series 6: Economics*, vol. 58, No. 5, pp. 134–161. DOI 10.55959/MSU0130-0105-6-58-5-7. EDN LDCSRS.
8. Efremov S.V., Ulyanov A.I. and Ulyanova A.G. (2022) Development of an approach to assessing the effectiveness of professional risk management. *XXI century: results of the past and problems of the present plus*, vol. 11, No. 4(60), pp. 233–237. DOI 10.46548/21vek-2022-1160-0036. EDN ZMSYBM.
9. Cherny K.A., Fainburg G.Z. and Rosenfeld E.A. (2021) Methodological problems of assessing professional risks at mining enterprises and their solution. *Subsoil use*, vol. 21, No. 4, pp. 193–200. DOI 10.15593/2712-8008/2021.4.8. EDN NRCVFT.
10. Martynov I.S., Misyuryaev V.Yu., Sadovnikov M.A. and Guzenko E.Yu. (2018) Dependence of the safety of agricultural workers on the assessment of professional risks. *News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*, No. 2(50), pp. 355–362. EDN YQTCJV.
11. Balandovich B.A., Martynenko A.I., Shirokostup S.V. et al. (2021) Methodological approaches to conducting a comprehensive assessment of labor protection and industrial safety at a modern enterprise. *Notes of a scientist*, No. 11-1, pp. 237–243. EDN DPODKN.
12. Sadovnikov M.A., Popov G.G., Semina D.V. and Ryzhkova A.A. (2019) The role of the system for assessing professional risks in the occupational safety management system in an organization. *Bulletin of Agrarian Science of the Don*, No. 4(48), pp. 102–107. EDN LWWBJB.

13. Goncharuk T. N. (2022) Analysis of safety culture to minimize occupational injuries. *XXI century: results of the past and problems of the present plus*, vol. 11, No. 3(59), pp. 210–217. DOI 10.46548/21vek-2022-1159-0033. EDN ZRMFRU.
14. Vaulin V.I. (2019) Theoretical foundations of training students in the field of life safety. *News of Saratov University. New series. Series: Philosophy. Psychology. Pedagogy*, vol. 19, No. 2, pp. 212–215. DOI 10.18500/1819-7671-2019-19-2-212-215. EDN ITUYIW.
15. Bulanova A.V., Pushenko S.L. and Staseva E.V. (2019) The importance of assessing professional risks in the occupational safety management system. *Safety of technogenic and natural systems*, No. 1, pp. 2–7. DOI 10.23947/2541-9129-2019-1-2-7. EDN YXBVLN.

Сведения об авторах:

Труфанова Полина Сергеевна, студент кафедры механики материалов, конструкций и машин
Оренбургского государственного университета
E-mail: tttrufanova@gmail.com

Едыгеева Альбина Темирбулатовна, студент кафедры механики материалов, конструкций и машин
Оренбургского государственного университета
E-mail: aedygeeva@yandex.ru

Кулиш Наталья Викторовна, доцент кафедры прикладной математики
Оренбургского государственного университета, кандидат педагогических наук
E-mail: natvikkul@mail.ru