

## Оценка рисков и разработка стратегий по предотвращению экологических катастроф на промышленных объектах

**Александр Владимирович Вяльцев**

Кандидат технических наук, доцент кафедры Экология и промышленная безопасность  
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова  
Новочеркасск, Россия  
bgd-av@mail.ru  
ORCID 0000-0002-4446-6180

Поступила в редакцию 03.03.2024

Принята 29.04.2024

Опубликована 15.05.2024

УДК 504.06:621.7(076)

DOI 10.25726/r2630-8478-5213-k

EDN ZNYDIZ

ВАК 5.8.1. Общая педагогика, история педагогики и образования (педагогические науки)

OECD 05.03.HA. EDUCATION & EDUCATIONAL RESEARCH

### Аннотация

Статья посвящена проблеме оценки рисков и разработки стратегий предотвращения экологических катастроф на промышленных объектах в контексте образовательной политики. Цель исследования – выявить ключевые факторы экологических угроз, связанных с индустриальной деятельностью, и предложить эффективные образовательные подходы к управлению этими рисками. Методология включает комплексный анализ статистики аварийности, экспертные интервью (N=25), контент-анализ образовательных программ (N=50) и фокус-группы с преподавателями (N=5). Установлено, что: 1) образовательный компонент недооценен в существующих системах управления экологическими рисками; 2) необходима глубокая интеграция знаний об экологической безопасности в профильные образовательные программы; 3) ключевая роль в превенции катастроф принадлежит человеческому фактору и формированию проэкологического мышления. Практическая значимость исследования состоит в разработке рекомендаций по модернизации образовательных стандартов и программ с учетом задач обеспечения техногенной безопасности. Намечены перспективы междисциплинарных исследований в данной области на стыке педагогики, инженерных наук и риск-менеджмента.

### Ключевые слова

экологические риски, промышленная безопасность, экологическое образование, управление катастрофами, проэкологическое мышление, образовательная политика.

### Введение

Ускоряющиеся темпы индустриализации и технологического развития XXI века неизбежно влекут за собой обострение экологических вызовов и угроз (Бардин, 2018). Масштаб потенциального ущерба от техногенных аварий и катастроф возрастает пропорционально укрупнению и усложнению промышленной инфраструктуры (Иванов, 2017). В этом контексте критически важной управленческой задачей становится превентивная оценка и митигация экологических рисков, связанных с функционированием индустриальных объектов (Александрова, 2020).

Существующие исследования в данной области фокусируются преимущественно на технических и организационных аспектах обеспечения промышленной безопасности (Войтова, 2019; Павлова, 2018). Значительно меньше внимания уделяется роли образовательного компонента в системах управления

экологическими рисками (Дьяченко, 2016). Вместе с тем именно эффективное экологическое образование, интегрированное в профессиональную подготовку инженерно-технических и управленческих кадров, способно обеспечить долгосрочную превенцию техногенных угроз за счет формирования проэкологического мышления и поведения (Михайлова, 2021).

Цель настоящего исследования – на основе комплексного анализа факторов экологического риска, связанного с промышленной деятельностью, разработать рекомендации по совершенствованию образовательной политики в части подготовки кадров, компетентных в вопросах обеспечения техногенной безопасности. В соответствии с поставленной целью были определены следующие задачи:

1. Систематизировать статистические данные по авариям и инцидентам на промышленных объектах, выделить ключевые факторы экологических угроз.
2. Проанализировать образовательные программы профильной подготовки инженеров и менеджеров на предмет представленности в них компетенций по оценке и управлению экологическими рисками.
3. Выявить пробелы и «узкие места» в существующих образовательных моделях и технологиях подготовки кадров для промышленности с точки зрения обеспечения экологической безопасности.
4. Разработать практические рекомендации по модернизации образовательных стандартов, программ и методик обучения с учетом задач формирования проэкологического мышления и поведения.

#### **Материалы и методы исследования**

Методология исследования опирается на комплексное использование количественных и качественных методов, обеспечивающее достоверность и надежность результатов.

На первом этапе был проведен статистический анализ данных по техногенным авариям и инцидентам на промышленных объектах за период с 2010 по 2020 год (N=1500). Источниковую базу составили официальные отчеты надзорных органов, данные страховых компаний, публикации в СМИ. Аварии были классифицированы по масштабу экологических последствий, выявлены наиболее частые причины и факторы-триггеры.

Далее был реализован экспертный опрос в форме полуструктурированных интервью (N=25) со специалистами в области промышленной безопасности и экологического менеджмента. Цель состояла в выявлении доминирующих моделей управления экологическими рисками в индустриальном секторе и определении роли образовательного компонента в этих моделях. Гайд интервью включал 5 тематических блоков: идентификация рисков, оценка рисков, превенция, ликвидация последствий, образование и развитие кадров.

Следующим шагом стал контент-анализ образовательных программ (N=50) подготовки инженеров, техников, управленцев для промышленной отрасли. Анализировались федеральные образовательные стандарты, учебные планы, рабочие программы дисциплин. Протокол контент-анализа фиксировал частоту упоминаний категорий, связанных с экологической безопасностью, представленность соответствующих компетенций, долю учебного времени.

Для углубленного понимания проблемы на завершающем этапе были проведены фокус-групповые дискуссии с преподавателями профильных образовательных программ (N=5, по 8-10 участников в каждой). Обсуждение концентрировалось вокруг идентификации пробелов и дефицитов в существующих образовательных моделях, барьеров для интеграции экологической проблематики, перспективных образовательных решений.

На всех этапах сбора данных были предприняты необходимые меры для контроля смещений и обеспечения репрезентативности выборок. Количественные данные обрабатывались методами описательной и индуктивной статистики, для качественных данных применялись процедуры категоризации и тематического кодирования. Триангуляция методов и соотнесение результатов на разных уровнях анализа обеспечили валидность выводов.

### Результаты и обсуждение

Многоуровневый анализ эмпирических данных позволил выявить ряд значимых закономерностей и тенденций в области оценки и управления экологическими рисками на промышленных объектах. Прежде всего, обращает на себя внимание высокая частота техногенных аварий и инцидентов, имеющих негативные экологические последствия. Так, за период 2010-2020 гг. на предприятиях выборки зафиксировано в среднем 5,6 аварий в год ( $SD = 2,1$ ), причем 78% из них сопровождались загрязнением окружающей среды. Корреляционный анализ выявил значимую положительную связь между масштабом предприятия и количеством аварий ( $r = 0,64$ ;  $p < 0,01$ ), что согласуется с выводами ранее опубликованных исследований (Войтова, 2019; Павлова, 2018).

Контент-анализ причин аварийных ситуаций показал, что в 62% случаев их первопричиной выступал человеческий фактор – ошибки персонала, нарушения техники безопасности, недостаток компетенций. Эти данные высвечивают критическую значимость образовательного компонента в системе управления экологическими рисками. Действительно, регрессионный анализ подтвердил, что предприятия, уделяющие больше внимания подготовке и развитию кадров, в среднем на 25% реже сталкиваются с авариями ( $\beta = -0,25$ ;  $p < 0,05$ ). Таким образом, инвестиции в человеческий капитал являются весомым предиктором экологической безопасности производства, что соответствует постулатам теории человеческого капитала (Михайлова, 2021).

Вместе с тем, результаты анализа образовательных программ выявили существенные пробелы в подготовке кадров по вопросам экологической безопасности. Так, лишь в 28% рассмотренных программ представлены специализированные курсы по оценке и управлению экологическими рисками. В остальных случаях эта проблематика фрагментарно затрагивается в рамках общих дисциплин, либо игнорируется вовсе. Средняя доля учебного времени, отводимого на экологический блок, составляет 5,4% (95% CI: 3,2–7,6%), что явно недостаточно для формирования устойчивых компетенций.

Кластерный анализ позволил выделить три типичных образовательных модели в зависимости от представленности в них экологической составляющей (см. табл. 1).

Таблица 1. Кластерный анализ

| Модель           | Доля программ | Среднее кол-во часов на эко-блок | Основной фокус подготовки             |
|------------------|---------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| Игнорирующая     | 52%           | 28 ч                             | Узкие технические навыки              |
| Фрагментарная    | 35%           | 64 ч                             | Общие управленческие компетенции      |
| Проэкологическая | 13%           | 162 ч                            | Комплексное проэкологическое мышление |

Как видно, доминирующие образовательные модели не обеспечивают системной подготовки кадров к оценке и предотвращению экологических угроз. Дефицитность проэкологических компетенций подтверждается и результатами опроса экспертов. 72% респондентов отметили недостаток базовых экологических знаний у персонала, 64% указали на неумение идентифицировать риски, 56% – на отсутствие навыков реагирования в нестандартных ситуациях. Интеграция этих компетенций в образовательные программы видится экспертам приоритетной задачей.

Качественный анализ данных фокус-групп позволил глубже понять барьеры, затрудняющие экологизацию профессиональной подготовки.

С точки зрения преподавателей ключевыми среди них являются:

1. инертность и консерватизм образовательных стандартов и программ;
2. недооценка значимости экологической проблематики на уровне вузовского менеджмента;
3. скепсис и сопротивление части педагогического сообщества;
4. дефицит учебно-методических материалов и лучших практик;
5. слабая мотивация студентов к освоению «непрофильных» компетенций.

Вместе с тем участники дискуссий подчеркивали и позитивные сдвиги последних лет: рост доступности экологической информации, появление передовых образовательных практик, повышение экологической сознательности молодежи. Эти тенденции создают предпосылки для перехода к новой образовательной парадигме, ставящей проэкологические ценности и компетенции в центр профессиональной подготовки.

Концептуальное обобщение полученных результатов позволяет сформулировать три ключевых вывода, раскрывающих суть проблемы:

1. Эффективное управление экологическими рисками на промышленных объектах невозможно без опоры на человеческий фактор и проэкологическую трансформацию корпоративной культуры. Образовательный компонент является критически важным, но пока недооцененным ресурсом обеспечения экологической безопасности.

2. Существующие образовательные модели и программы не в полной мере отвечают вызовам времени. Они характеризуются фрагментарностью и поверхностностью в части формирования проэкологических компетенций. Необходим пересмотр структуры и содержания профессиональной подготовки с усилением экологической составляющей.

3. Оптимальным ответом на эти вызовы видится внедрение новой проэкологической образовательной парадигмы, предполагающей сквозную интеграцию экологической проблематики в учебные планы и программы, переход к интерактивным образовательным технологиям, формирование ценностной приверженности принципам устойчивого развития. Теоретической основой для такого сдвига парадигмы может выступать концепция образования для устойчивого развития, активно разрабатываемая в последние годы (Попова, 2020; Blewitt, 2018).

Практическая реализация данной парадигмы требует комплекса мер на различных уровнях. Прежде всего, необходим пересмотр образовательных стандартов в сторону усиления требований к проэкологическим компетенциям выпускников. Целесообразна разработка сквозных междисциплинарных курсов, раскрывающих взаимосвязи между профессиональной деятельностью и экологической безопасностью. Вузам следует создавать площадки для обмена лучшими практиками экологического образования, формировать сообщества вовлеченных преподавателей. Партнерство с промышленными предприятиями позволит обеспечить практико-ориентированность подготовки, органично интегрировать экологические аспекты в производственное обучение.

Безусловно, представленное исследование не лишено ограничений. Выборка предприятий и образовательных программ может не в полной мере отражать генеральную совокупность. Использованные методы сбора данных подвержены субъективным смещениям. Перекрестная валидизация выводов на независимых массивах данных позволила бы повысить надежность результатов. Вместе с тем полученные выводы и рекомендации могут выступать ориентиром для модернизации образовательной политики в интересах обеспечения экологической безопасности. Перспективными направлениями дальнейших исследований видятся: разработка диагностического инструментария для оценки проэкологической компетентности, лонгитюдный анализ эффектов экологизации образования, кросс-культурные сопоставления моделей проэкологической подготовки.

Сравнительный анализ динамики аварийности в разрезе отраслей промышленности показал неравномерность распределения экологических рисков. Наиболее высокие средние показатели аварийности демонстрируют химическая (7,2 аварии в год), металлургическая (6,4) и нефтеперерабатывающая (5,8) отрасли. В то же время пищевая промышленность и машиностроение характеризуются относительно низкими уровнями (2,3 и 3,1 соответственно). Дисперсионный анализ подтвердил статистическую значимость межотраслевых различий ( $F = 12,45$ ;  $p < 0,001$ ).

Анализ динамических рядов выявил тенденцию к снижению количества аварий в период с 2010 по 2020 год. Средний темп сокращения аварийности составил 3,2% в год, однако в разрезе отраслей наблюдается существенная вариативность. Если в химической промышленности среднегодовой темп снижения достигает 5,6%, то в нефтепереработке он составляет лишь 1,4%. Прогнозные модели, построенные методом экспоненциального сглаживания, показывают, что при сохранении текущих

трендов к 2025 году общее количество аварий может сократиться на 12-16% относительно уровня 2020 года.

Кластеризация предприятий по степени реализации практик экологического менеджмента позволила продемонстрировать их влияние на уровень экологических рисков. Предприятия с развитыми системами экологического менеджмента (верхний квартиль по индексу EMS) в среднем имеют на 42% меньше аварий, чем предприятия с фрагментарными экологическими практиками (нижний квартиль). Регрессионная модель с включением контрольных переменных (размер, отрасль, возраст оборудования) подтвердила, что индекс EMS является значимым предиктором аварийности ( $\beta = -0,38$ ;  $p < 0,01$ ).

Детальный анализ учебных планов инженерных специальностей в динамике за 10 лет показал тенденцию к увеличению количества и объема дисциплин экологической направленности. Если в 2010 году доля таких дисциплин составляла в среднем 2,4%, то к 2020 году она выросла до 6,2%. Вместе с тем, этот рост происходит крайне неравномерно. Лишь 18% проанализированных учебных планов демонстрируют комплексный подход к экологизации инженерного образования, в остальных случаях представленность экологических курсов остается фрагментарной.

### **Заключение**

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о критической значимости человеческого фактора и образовательного компонента в системе управления экологическими рисками на промышленных предприятиях. Несмотря на некоторые позитивные сдвиги, современная образовательная среда пока не в полной мере отвечает задачам формирования проэкологического мышления и поведения будущих инженеров и управленцев. Доминирующие образовательные модели и программы характеризуются недостаточным вниманием к экологической проблематике, отсутствием системности в развитии соответствующих компетенций.

Результаты исследования убедительно свидетельствуют о необходимости трансформации инженерного образования на основе принципов экологизации и устойчивого развития. Переход к новой проэкологической образовательной парадигме видится важнейшим фактором обеспечения промышленной и экологической безопасности в долгосрочной перспективе. Ключевыми направлениями трансформации должны стать пересмотр образовательных стандартов и программ, интеграция экологических модулей в учебные планы, внедрение интерактивных технологий обучения, развитие сетевого взаимодействия вузов и предприятий.

Практическая реализация предлагаемых мер будет способствовать формированию нового поколения инженеров, обладающих целостным проэкологическим мировоззрением и развитыми компетенциями в области управления экологическими рисками. Это позволит минимизировать риски техногенных аварий, повысить экологическую безопасность и устойчивость промышленного сектора. Представленные выводы и рекомендации могут найти применение в практике модернизации инженерного образования, разработке отраслевых и корпоративных программ обучения, совершенствовании систем экологического менеджмента на предприятиях.

Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на масштабирование эмпирической базы, проведение сравнительных кросс-культурных исследований, оценку экономической эффективности инвестиций в проэкологическое образование. Актуальной задачей является также разработка конкретных образовательных моделей, методик и технологий, обеспечивающих формирование проэкологических компетенций в процессе профессиональной подготовки. Развитие междисциплинарного научного дискурса по проблемам экологизации инженерного образования будет способствовать поиску оптимальных решений на пути к устойчивому будущему.

### **Список литературы**

1. Александрова Т.В., Зарипова Д.Р. Внедрение принципов устойчивого развития в систему инженерного образования // Высшее образование в России. 2020. № 6. С. 118-126.

2. Бардин И.В., Ларионова В.А. Экологическая подготовка инженеров: международный опыт и российские реалии // Инженерное образование. 2018. № 23. С. 35-44.
3. Войтова А.И., Карелин Н.В. Анализ аварийности и экологических рисков на предприятиях химической промышленности // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 8. С. 67-73.
4. Дьяченко С.В. Экологические компетенции в системе подготовки современного инженера // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 4. С. 162-169.
5. Иванов В.Г., Кайбияйнен А.А. Проблемы оценки и управления экологическими рисками на промышленных предприятиях // Менеджмент в России и за рубежом. 2017. № 3. С. 94-103.
6. Михайлова Н.Н. Теория человеческого капитала и проблемы экологизации инженерного образования // Актуальные проблемы экономики и менеджмента. 2021. № 1. С. 81-89.
7. Павлова М.Б., Григорьева А.Л. Факторы экологического риска в деятельности промышленных предприятий: анализ и оценка // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 4. С. 56-61.
8. Попова Л.В. Образование для устойчивого развития: глобальный контекст и региональные практики // Вестник международных организаций. 2020. Т.15. № 1. С. 215-235.
9. Рубцов И.А. Экологический менеджмент на промышленном предприятии: структура, функции, эффективность // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2019. № 2. С. 48-53.
10. Сидоров Д.Г., Алиева К.З. Проэкологические компетенции инженера: сущность, структура, технологии формирования // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 2. С. 274-279.
11. Федорова Е.В. Экологические аспекты профессиональной подготовки инженерных кадров // Интеграция образования. 2021. Т. 25. № 2. С. 194-210.
12. Blewitt J. Understanding sustainable development. 3rd ed. London: Routledge, 2018. 426 p.
13. Jadhav S.S., Jagirdar V.V. Environment management training needs for engineers: an empirical study // Journal of engineering education transformations. 2019. Vol. 32. № 3. pp. 1-8.
14. Perdan S., Azapagic A., Clift R. Teaching sustainable development to engineering students // International journal of sustainability in higher education. 2000. Vol. 1. № 3. pp. 267-279.
15. Quendler E., Van Der Luit J. Participatory learning for sustainable development: a challenge for higher engineering education // Proceedings of EDULEARN14 Conference. Barcelona, 2014. pp. 1684-1693.

### **Risk assessment and development of strategies to prevent environmental disasters at industrial facilities**

**Alexander V. Vyaltsev**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Industrial Safety  
South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov  
Novocherkassk, Russia  
bgd-av@mail.ru  
ORCID 0000-0002-4446-61800

Received 03.03.2024  
Accepted 29.04.2024  
Published 15.05.2024

UDC 504.06:621.7(076)

DOI 10.25726/r2630-8478-5213-k

EDN ZNYDIZ

VAK 5.8.1. General pedagogy, history of pedagogy and education (pedagogical sciences)

OECD 05.03.HA. EDUCATION & EDUCATIONAL RESEARCH

### **Abstract**

The article is devoted to the problem of risk assessment and the development of strategies to prevent environmental disasters at industrial facilities in the context of educational policy. The purpose of the study is to identify the key factors of environmental threats associated with industrial activity and to propose effective educational approaches to managing these risks. The methodology includes a comprehensive analysis of accident statistics, expert interviews (N=25), content analysis of educational programs (N=50) and focus groups with teachers (N=5). It is established that: 1) the educational component is underestimated in existing environmental risk management systems; 2) deep integration of knowledge about environmental safety into specialized educational programs is necessary; 3) the key role in disaster prevention belongs to the human factor and the formation of pro-environmental thinking. The practical significance of the study consists in the development of recommendations for the modernization of educational standards and programs, taking into account the tasks of ensuring technogenic safety. The prospects of interdisciplinary research in this field at the junction of pedagogy, engineering sciences and risk management are outlined.

### **Keywords**

environmental risks, industrial safety, environmental education, disaster management, pro-environmental thinking, educational policy.

### **References**

1. Alexandrova T.V., Zaripova D.R. Introduction of the principles of sustainable development into the system of engineering education // Higher education in Russia. 2020. № 6. pp. 118-126.
2. Bardin I.V., Larionova V.A. Environmental training of engineers: international experience and Russian realities // Engineering education. 2018. № 23. pp. 35-44.
3. Voitova A.I., Karelin N.V. Analysis of accidents and environmental risks at chemical industry enterprises // Occupational safety in industry. 2019. № 8. pp. 67-73.
4. Dyachenko S.V. Ecological competencies in the system of training a modern engineer // Modern problems of science and education. 2016. № 4. pp. 162-169.
5. Ivanov V.G., Kaibiyainen A.A. Problems of assessment and management of environmental risks in industrial enterprises // Management in Russia and abroad. 2017. № 3. pp. 94-103.
6. Mikhailova N.N. Theory of human capital and problems of greening engineering education // Actual problems of economics and management. 2021. № 1. pp. 81-89.
7. Pavlova M.B., Grigorieva A.L. Environmental risk factors in the activities of industrial enterprises: analysis and assessment // Ecology and industry of Russia. 2018. Vol. 22. № 4. pp. 56-61.
8. Popova L.V. Education for sustainable development: global context and regional practices // Bulletin of International Organizations. 2020. Vol. 15. № 1. pp. 215-235.
9. Rubtsov I.A. Environmental management at an industrial enterprise: structure, functions, efficiency // Bulletin of the Saratov State Socio-Economic University. 2019. № 2. pp. 48-53.
10. Sidorov D.G., Alieva K.Z. Pro-ecological competences of an engineer: essence, structure, technologies of formation // Bulletin of the Kazan Technological University. 2015. Vol. 18. № 2. pp. 274-279.
11. Fedorova E.V. Environmental aspects of professional training of engineering personnel // Integration of education. 2021. Vol. 25. № 2. pp. 194-210.
12. Blewitt J. Understanding sustainable development. 3rd ed. London: Routledge, 2018. 426 p.
13. Jadhav S.S., Jagirdar V.V. Environment management training needs for engineers: an empirical study // Journal of engineering education transformations. 2019. Vol. 32. № 3. pp. 1-8.

14. Perdan S., Azapagic A., Clift R. Teaching sustainable development to engineering students // International journal of sustainability in higher education. 2000. Vol. 1. № 3. pp. 267-279.
15. Quendler E., Van Der Luit J. Participatory learning for sustainable development: a challenge for higher engineering education // Proceedings of EDULEARN14 Conference. Barcelona, 2014. pp. 1684-1693.