

УДК 504.06

Р. С. Гольдберг, В. В. Яценко

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

## Байесовский статистический вывод для управления экологическими рисками предприятий нефтепереработки

Обосновывается необходимость нахождения альтернативных способов определения вероятности возникновения рискованных событий экологического характера на предприятиях нефтеперерабатывающей отрасли на основе подходов байесовского статистического вывода. Определен базовый математический аппарат статистического управления экологическими рисками предприятий нефтепереработки.

### Управление рисками, экологические риски, байесовский статистический вывод, количественная оценка риска

На нефтеперерабатывающем предприятии ежеквартально проводится мониторинг состояния окружающей природной среды – производственный экологический контроль (ПЭК). Цель ПЭК – выявить, превышают ли полученные в результате измерений значения показателей экологического состояния природно-антропогенного комплекса установленные для данного предприятия предельно допустимые концентрации (ПДК) и выбросы (ПДВ) вредных веществ.

Кроме того, что за нарушение установленных лимитов предусмотрены штрафные санкции, постоянное превышение ПДК и ПДВ может являться одним из признаков приближения аварийной ситуации.

Рассмотрим операционные экологические риски деятельности предприятия, связанные с возможным превышением предельных концентраций. В качестве количественной характеристики экологического риска в ходе текущей деятельности предприятия может быть рассмотрено «приоритетное число риска» (ПЧР), вычисляемое по формуле  $PЧР = S \times O$ , где  $S$  – оценка значимости последствий;  $O$  – оценка вероятности возникновения [1].

Значимость последствий может быть оценена на основе штрафных санкций, наложенных на предприятие вследствие превышения ПДК/ПДВ по каждому конкретному фактору. Оценка вероятности возникновения, в свою очередь, как правило, связана с экспертными оценками и может

быть задана, например, исходя из частоты возникновения события в прошлом (табл. 1).

Таблица 1

Вероятность возникновения события	Оценка, балл
Вероятность возникновения события очень высокая. Событие постоянно имело место в процессе обращения с опасными отходами	9
Вероятность возникновения события высокая. Событие имело место в прошлом неоднократно, чаще одного раза в год	7
Вероятность возникновения события умеренная. Событие имело место в прошлом неоднократно	5
Вероятность возникновения события мала. Событие неоднократно имело место в прошлом	3
Вероятность возникновения события невелика	1

Однако субъективный характер метода экспертных оценок, который является фактором неопределенности, ставит под сомнение достоверность получаемых результатов [2].

Сформулируем гипотетические исходы события «предприятие загрязняет окружающую среду» (рис. 1):

- гипотеза  $H_0$ : ПДК/ПДВ не будет превышен;
- гипотеза  $H_1$ : ПДК/ПДВ будет превышен.

Тогда  $P(H_0)$  – вероятность события  $H_0$ , а  $P(H_1)$  вероятность того, что ПДК/ПДВ превышен не будет. Очевидно, что  $P(H_0) + P(H_1) = 1$ .

Рассмотрим более подробно ситуацию, в которой деятельность предприятия нефтеперераба-

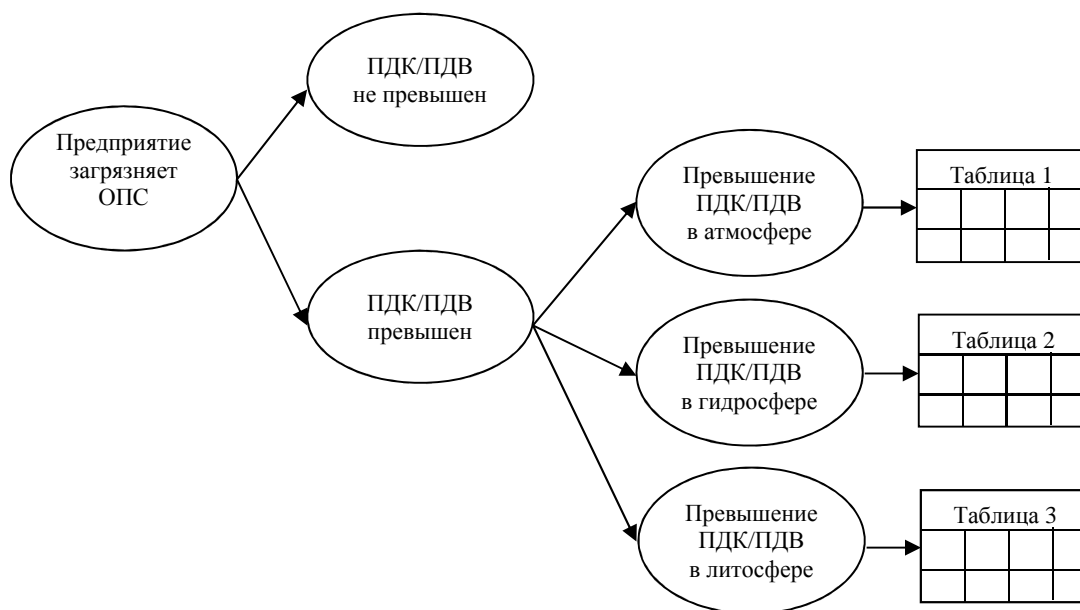


Рис. 1

тывающей отрасли способствовала загрязнению окружающей природной среды в такой степени, что допустимые концентрации вредных веществ оказались превышены.

Событие «ПДК/ПДВ превышен» будет обязательно связано с одной из трех групп экологических аспектов предприятия. Для нефтепереработки это следующее:

- выбросы в атмосферу (табл. 2) [3];
- сброс сточных вод (потребление водных ресурсов) (табл. 3) [4];
- образование (твердых и пастообразных) опасных отходов (см. табл. 4) [5].

Факторы и/или группы факторов, по которым могут быть превышены ПДК/ПДВ по экологическим аспектам, представлены в табл. 2–4.

Фактическое значение каждого фактора – результат измерений концентрации данного вещества в ходе ПЭК, проводимого с установленной периодичностью, который может быть рассмотрен как непрерывная случайная величина  $X$ , характеризующаяся функцией распределения вероятности  $F(x)$  или плотностью вероятности  $f(x)$ .

Согласно центральной предельной теореме теории вероятности, случайная величина, образовавшаяся как совокупность независимых случайных процессов, подчиняется закону нормального распределения. Так как результаты многократных измерений при наличии случайных погрешностей формируются под влиянием независимо действующих факторов, можно сделать вывод, что в

условиях отсутствия какого-либо доминирующего влияния, результаты многократных измерений будут подчиняться нормальному закону распределения [6].

Зная плотность распределения вероятностей, можно вычислить вероятность попадания значений непрерывной случайной величины в заданный интервал, иными словами, рассчитать вероятность того, что ПДК/ПДВ по данному фактору будут превышены (рис. 2), по формуле

$$P(x > a) = \int f(x)dx, \tag{1}$$

где  $a$  – значение ПДК/ПДВ для данного фактора.

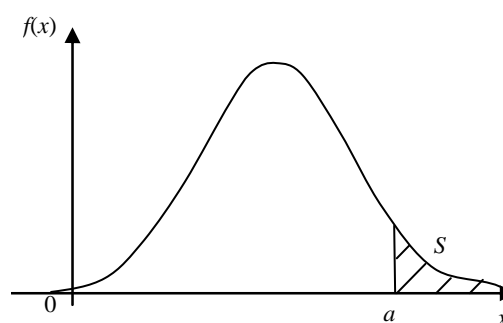


Рис. 2

Если превышение ПДК/ПДВ имеется хотя бы по одному из факторов, наступает событие  $H_1$ . Теорема Т. Байеса позволяет вычислить вероятность того, что ПДК/ПДВ превышены при условии, что они превышены именно по фактору  $X$  по формуле

$$P(H_1 | X) = \frac{P(X | H_1) \times P(H_1)}{P(X)},$$

Таблица 2

Экологический аспект	Возможные негативные последствия в масштабе катастрофы	Источники: распределение выбросов вредных веществ в атмосферу по основным источникам от общего количества выбросов						
		Источники загрязнения атмосферы	Компоненты выбросов, %					Твердые вещества
Образование тропосферного озона (парниковый газ)	Углеводороды		CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S		
	Выбросы в атмосферу (атмосфера)	Образование тропосферного озона (парниковый газ)	Резервуары	40.7	–	–	–	9,6
Градирни и нефтеотделители			14.6	–	–	–	9.5	–
Очистные сооружения			12.4	–	–	–	20.3	–
Образование фотохимического смога (парниковый газ)		Сливно-наливные эстакады	3.1	–	–	–	–	–
		Дымовые трубы	–	43.4	56.9	72.6	–	–
		Факельные стояки	–	4.8	19.9	5.4	–	4.7
		Вакуумсоздающие системы АВТ	3.5	–	–	–	44.6	–
Разрушение стратосферного озона		Вентиляционные системы	2.0	–	–	–	2.8	0.7
		Регенераторы установок каталитического крекинга	–	30.7	2.5	–	–	23.3
		Газомоторные компрессоры	–	10.5	–	14.7	–	–
Кислотные дожди (негативное влияние на флору, развитие легочных и кожных заболеваний у человека, повреждение различного рода обработанных поверхностей)		Узлы рассева и пневмотранспорта катализаторов	–	–	–	–	–	29.5
		Негерметичность оборудования	19.4	–	–	–	–	–
		Прочие источники	4.3	10.6	20.7	7.3	13.2	41.8

Таблица 3

Экологический аспект	Возможные негативные последствия в масштабе катастрофы	Источники		
		Показатель загрязнения	Содержание, мг/л	
Сбор сточных вод, потребление водных ресурсов (гидросфера)	Токсичное воздействие на гидробионтов (мутация, болезненные изменения, летальное отравление, вымирание видов)		Состав сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий	
		Снижение содержания кислорода в воде (вымирание видов)	Накопление гидробионтами токсичных веществ	Взвешенные вещества
Нефтепродукты	1000...2500			3000...5000
Сухой остаток	1000...1500	5000...6000		
Накопление гидробионтами канцерогенов	Накопление гидробионтами канцерогенов	ПАВ	5...20	80...100
		Фенолы	3...15	2...4
		Аммонийный азот	25...30	20...30
Накопление гидробионтами канцерогенов	Накопление гидробионтами канцерогенов	ХПК	400...850	600...800
		БПКполн	250...550	300...500
		pH	7.8...8.6	7.5...7.8

Таблица 4

Пространство наблюдений		
Экологический аспект	Источники	
	Номенклатура отходов нефтепереработки и ректификации природного газа (группа 5)	
	Наименование отхода	
Образование (твердых и пастообразных) опасных отходов (литосфера)	Нарушение терморегулятивных функций у животных как следствие взаимодействия с нефтепродуктами	Нефтесодержащие шламы
		Водяные стоки обработанных шламов
		Обессоленные шламы
		Донные шламы в резервуарах
		Нефть разлитая
		Остатки гудрона
	Угнетение или деградация растительного покрова	Остатки асфальта
		Другие нефтесодержащие шламы и твердые отходы, не определяемые иначе
		Не содержащие нефть шламы и твердые отходы
		Кислотные алкиловые шламы
	Падение продуктивности сельскохозяйственных земель	Шламы кипячения воды
		Отходы от чистки газовых труб
		Не содержащие нефть шламы и твердые отходы, не определяемые иначе
		Использованные катализаторы
	Нарушение экологическое равновесие в почвенном биоценозе (флора и фауна)	Использованные катализаторы
		Использованные фильтры из глины
Использованные фильтры из глины, обтирочные ткани, защитные одежды		
Остатки от десульфатизации нефти		
Элементарная сера		

где  $X$  – случайная величина, характеризующая фактические значения одного из факторов загрязнения окружающей природной среды;  $P(H_1)$  – заданная априорная вероятность гипотезы  $H_1$ ;  $P(X/H_1)$  – значение условной функции плотности вероятности переменной  $X$  при заданном значении  $P(H_1)$ ;  $P(X)$  – значение функции плотности вероятности переменной  $X$ , определяемой по (1).

Расчетная величина  $P(H_1/X)$  – апостериорная (условная) вероятность того, что ПДК/ПДВ превышены при условии, что они были превышены по фактору  $X$ . Иными словами, на основе опытных данных получено более точное значение ве-

роятности, которая изначально была задана экспертами, т. е. неопределенность в вероятностной оценке наступления рискованного события снижена за счет учета результатов замеров состояния окружающей среды.

Следует также отметить, что каждая последующая итерация позволит получать все более точное значение экологического риска, связанного с данным конкретным фактором  $X$ , который может относиться к атмосферным, гидросферным или литосферным загрязнениям природной среды в зоне действия предприятия нефтеперерабатывающей отрасли.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ видов и последствий потенциальных отказов. FMEA: справ. рук. // пер. с англ. Н. Новгород: СМЦ «Приоритет», 2006. 86 с.
2. Гольдберг, Р. С. Управление экологическими рисками на предприятиях нефтеперерабатывающей отрасли / Р. С. Гольдберг, В. В. Яценко // Соврем. пробл. менеджмента. Материалы VI между. науч.-практ. конф. студентов и аспирантов: сб. науч. тр. / под ред. проф. А. Н. Мардаса. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. 196 с.
3. Абросимов, А. А. Социально-экологические проблемы нефтепереработки / А. А. Абросимов // Экология и промышленность России. 2000. № 11. С. 32–36.
4. Абросимов, А. А. Экологические аспекты производства и применения нефтепродуктов / А. А. Абросимов. М.: Барс, 1999. 732 с.
5. ГОСТ 30775–2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов. Основные положения. Введ. 2002-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2003.
6. Кравченко, Н. С. Методы обработки результатов измерений и оценки погрешностей в учебном лабораторном практикуме: учеб. пособие / Н. С. Кравченко, О. Г. Ревинская; Национальный исследовательский Томский политехн. ун-т. Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2011. 88 с.

R. S. Goldberg, V. V. Yaschenko

*Saint-Petersburg state electrotechnical university «LETI»*

## BAYESIAN STATISTICAL INFERENCE AS THE APPLICATION TO ENVIRONMENTAL RISK MANAGEMENT IN TERMS OF THE OIL-REFINING INDUSTRY

*Article justifies the alternative tool to assess probability in terms of the oil-refining environmental risks. Authors give the mathematical framework for environmental risks' assessment based on the Bayesian statistical inference and experimental data on the degree of pollution.*

**Risk management, Environmental risk, Bayesian statistical inference, Quantitative risk assessment**

---