

УДК 616-056:005.334]:061.5

МЕТОД СРАВНИТЕЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ РЕАГЕНТОВ

¹С.А.Лаптёнок, ²А.И.Новицкая, ³Е.В.Шавяка, ¹С.А.Хорева,
¹А.А.Кологривко, ⁴И.В.Лазар, ¹А.Д.Невгин, ¹Х.М.Ель Хамад

¹ Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

² УП «Водные системы индустриального парка»,
Китайско-Белорусский индустриальный парк «Великий камень»,
Пекинский пр-т, 18, 222210, Смолевичский район, Минская область, Республика Беларусь

³ РУП «Национальный аэропорт Минск»,
территория Национального аэропорта «Минск», 220054, г. Минск, Республика Беларусь

⁴ Республиканский научно-практический центр медицинских технологий,
информатизации, управления и экономики здравоохранения (РНПЦ МТ),
ул. П.Бровки, 7а, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

Представлен метод сравнительного оценивания негативного воздействия на окружающую среду и состояние здоровья населения некоторых промышленных реагентов, используемых в технологических процессах в авиационной и коммунальной отраслях, основанный на ранжировании значений соответствующих характеристик исследуемых составов.

Ключевые слова: состояние здоровья населения; промышленные и бытовые реагенты; негативное воздействие; метод сравнительного оценивания.

Одними из наиболее опасных техногенных источников воздействия на человека и объекты природной среды являются химические производства. К ним относят не только предприятия химической, нефтехимической, металлургической и других отраслей промышленности, где токсические химические вещества содержатся в сырье, вспомогательных материалах, технологических смесях, продуктах и отходах. Значительные массы сильнодействующих токсических веществ сосредоточены на объектах пищевой, мясомолочной промышленности, в жилищно-коммунальном хозяйстве и т.д. Поэтому система обеспечения химической безопасности этих объектов опирается на анализ и управление химическими рисками, исходя из базового положения о приемлемых уровнях риска, обеспечивающих безопасность населения.

В результате деятельности человека в окружающей среде накапливается значительное количество антропогенных поллютантов. В среднем за год только органических соединений в гидросфере поступает свыше 400 миллионов тонн [1].

В условиях штатного функционирования промышленных объектов риски обусловлены выбросом или утечкой вредных или опасных веществ,

сбросом неочищенных стоков, захоронением опасных и высокотоксичных отходов в количествах, превышающих санитарно-гигиенические нормативы и оказывающих воздействие на состояние здоровья населения и окружающую среду. Экологическая безопасность предприятий обеспечивается снижением степени экологического риска до минимального уровня, который может быть обеспечен реально имеющимся комплексом научно-технических, экономических и организационных средств, что является неотъемлемой частью концепции митигации чрезвычайных ситуаций.

Философия и методология митигации органично согласуется с разработанной в 80–90-х годах XX столетия членом-корреспондентом Национальной академии наук Беларуси Н.И.Аринчиным концепцией здравосозидания в Республике Беларусь. По А.Н.Аринчину, здравосозидание представляет собой систему индивидуальных, государственных и международных мероприятий, направленных на вскрытие и ликвидацию источников заболеваний, формирование здоровья, долголетия и творческой жизнедеятельности каждого человека [2].

В данной работе представлен метод сравнительного оценивания негативного воздействия на окружающую среду и состояние здоровья насе-

ления некоторых промышленных реагентов, используемых в технологических процессах в авиационной и коммунальной отраслях, основанный на ранжировании значений соответствующих характеристик исследуемых составов.

В соответствии с требованиями к безопасности эксплуатации авиационной техники полет воздушного судна запрещается, если на поверхностях, соприкасающихся с внешней средой, наблюдаются снежно-ледяные отложения и иней, а после взлета – образование льда. Снежно-ледяные отложения, находящиеся на поверхностях и элементах воздушного судна, ухудшают его аэродинамические характеристики, устойчивость, ограничивают или полностью блокируют подвижность элементов управления, а также искажают сигналы датчиков вплоть до полной блокировки [3]. Такие факторы, как ухудшение аэродинамических характеристик крыла и снижение уровня эффективности функционирования органов управления воздушным судном, с высокой степенью вероятности могут способствовать возникновению аварийных ситуаций и, как следствие, аварий на воздушном транспорте. С целью предотвращения формирования снежно-ледяных отложений льда при наземной подготовке воздушного судна к полету в зимнее время выполняется противообледенительная обработка его наружных поверхностей с использованием противообледенительных жидкостей.

В состав данных реагентов входит ряд веществ, способных оказывать негативное воздействие на живые организмы, поэтому технологический процесс противообледенительной обработки включает ряд требований по защите персонала и окружающей среды. Тем не менее, отдельные экологические аспекты остаются вне поля зрения. Так, например, в ряде случаев уровень защищенности технического персонала от негативного воздействия противообледенительных жидкостей недостаточен. Излишки реагентов стекают на поверхность покрытия аэродрома, так как процесс разбрызгивания при противообледенительной обработке зачастую фактически превращается в процесс обливания. Сбор и утилизация таких стоков осуществляются далеко не на всех аэродромах [3]. В связи с этим, возникает настоятельная необходимость разработки и осуществления соответствующими службами эффективных мероприятий, направленных на снижение долгосрочных рисков, связанных с негативным воздействием на окружающую среду и, следовательно, на состояние здоровья населения. В качестве организационного мероприятия такого рода достаточно эффектив-

ным представляется осуществление так называемого «экологического маркетинга» – анализ противообледенительных жидкостей от различных производителей в аспекте уровня негативного воздействия на окружающую среду и человека с целью выбора для использования в технологическом процессе реагента с минимальным уровнем экологического риска.

Определенная сложность задачи состоит в том, что сравнивать различные составы необходимо не по одному показателю, а по всему ансамблю характеристик, так как их значения обладают определенной мозаичностью: если конкретный состав по одному показателю является «лидером», то по другим он может быть и «среднячком», и «аутсайдером». Для решения задачи целесообразным представляется использовать следующий алгоритм.

Анализируемые противообледенительные жидкости различного состава ранжируются по значению каждого показателя от наименее опасного к наиболее опасному. Если в процессе ранжирования значения показателя для нескольких составов не различаются, всем им присваивается ранг, равный среднему арифметическому значению их порядковых номеров в ранжированном ряду. Затем для каждого из составов ранги суммируются. Наименее опасным для окружающей среды и состояния здоровья населения признается реагент с наименьшей суммой рангов [5–8].

В табл. 1 представлены основные параметры, характеризующие негативное воздействие различных противообледенительных жидкостей на окружающую среду и состояние здоровья населения, в табл. 2 – результаты ранжирования и суммирования рангов. В представленных таблицах коммерческие наименования и производители не указывались в целях недопущения скрытой рекламы либо антирекламы.

Анализируя результаты ранжирования и суммирования рангов для различных составов противообледенительных жидкостей, можно заключить, что наименьшим уровнем негативного воздействия на окружающую среду и состояние здоровья населения по совокупности параметров характеризуется реагент «Состав №5» (сумма рангов по ансамблю характеристик, равная 26, является минимальной в данной группе) (табл. 2).

Еще одной областью, где «открытое» применение химических реагентов распространено особенно широко, является промышленное и коммунальное водоснабжение и водоотведение. Промышленные и коммунальные сточные воды перед сбросом в водоемы и водотоки нуждаются в очи-

Таблица 1

Основные параметры, характеризующие негативное воздействие различных составов противообледенительных жидкостей на окружающую среду и состояние здоровья населения

№ п/п	Параметры	Состав №1	Состав №2	Состав №3	Состав №4	Состав №5
1.	Раздражающее действие на кожу (гиперемия), баллы	2	0	1	0	2
2.	Раздражающее действие на конъюнктиву (гиперемия), баллы	2	1	2	2	1
3.	Химическое потребление кислорода (COD), O ₂ /кг, кг	1.17	0.88	0.95	1.1	0.84
4.	Биологическое потребление кислорода (BOD), O ₂ /кг, кг	0.56	0.46	0.60	0.40	0.38
5.	Биоразложение BOD/ COD (5 дней, 20° С)	0.48	0.52	0.63	0.36	0.45
6.	Острая токсичность LC ₅₀ (96 часов, daphniamagna), мг/л	1950	1425	1735	1250	2025
7.	Острая токсичность LC ₅₀ (96 часов, pimephalespromelas), мг/л	2925	3100	3500	3650	2375
8.	ПДК по этиленгликолю в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	5.0	7.0	6.0	5.0	7.0
9.	ПДК по этиленгликолю в воде рыбохозяйственных водоемов, мг/л	0.25	0.45	0.30	0.40	0.25
10.	ПДК по этиленгликолю в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, мг/л	1.0	0.6	1.3	1.0	0.8

Таблица 2

Результаты ранжирования и суммирования рангов для различных составов противообледенительных жидкостей

№ п/п	Состав №1	Состав №2	Состав №3	Состав №4	Состав №5
1.	4,5	1,5	3	1,5	4,5
2.	4	1,5	4	4	1,5
3.	5	2	3	4	1
4.	4	3	5	2	1
5.	3	4	5	1	2
6.	2	4	3	5	1
7.	4	3	2	1	5
8.	4,5	1,5	3	4,5	1,5
9.	4,5	1	3	2	4,5
10.	2,5	5	1	2,5	4
Сумма рангов	38	26,5	32	27,5	26

стке. Кроме того, в целях сбережения пресной воды как чрезвычайно ценного природного ресурса, а также снижения материальных затрат, при обслуживании бассейнов различного назначения процесс полного слива с последующим заполнением заменяют процессом очистки с использованием соответствующих реагентов, в том числе флокулянтов (табл. 3, 4).

Флокулянты для водоподготовки – одна из разновидностей реагентов, применяемых при очи-

стке воды в бассейнах, искусственных водоемах, на производственных объектах и т.п. Специальные химические средства предназначены для уменьшения мутности воды, то есть ее очистки от взвеси тонкодисперсных нерастворимых частиц. От них невозможно избавиться простой фильтрацией, требуется предварительная обработка с использованием коагулянтов и флокулянтов.

При добавлении в воду реагентов они провоцируют объединение мелких взвешенных частиц

Основные параметры, характеризующие негативное воздействие различных составов флокулянтов на окружающую среду и состояние здоровья населения

№ п/п	Параметры	Состав №1	Состав №2	Состав №3	Состав №4	Состав №5
1.	Термическое разложение (min), t° C	200	150	180	200	190
2.	Массовая доля нерастворимого в воде остатка (max), %	0.10	0.12	0.09	0.12	0.14
Острая токсичность						
3.	LD ₅₀ оральное, мг/кг	2000	5000	3500	3000	4000
4.	LD ₅₀ оральное (Al), мг/кг	487	350	430	503	398
5.	LC ₅₀ вдыхание, мг/л	5.6	5.9	5.3	6.1	5.2
6.	LC ₅₀ вдыхание (Al), мг/л	1.4	1.2	1.4	1.6	1.3
7.	LD ₅₀ кожный, мг/кг	2000	10000	6000	12000	8000
8.	LD ₅₀ кожный (Al), мг/кг	550	430	480	450	510
Токсичность при долговременном воздействии						
9.	Оральное (общая токсичность), NOAEL, мг/кг	1000	1200	1100	1400	1200
10.	Оральное (токсичность в пересчете на Al), NOAEL, мг/кг	90	110	120	120	95
11.	Оральное (ОЭСР, стандарт тестирования 422), NOAEL, мг/кг	200	220	190	230	200
12.	Локальные эффекты (в пересчете на Al), NOAEL, мг/кг	18.0	22.0	16.0	20.0	19.0
13.	Вдыхание, мг/л	0.0153	0.0215	0.0196	0.0226	0.0144
14.	Вдыхание (в пересчете на Al), мг/л	0.0047	0.0041	0.0052	0.0038	0.0044
Токсичность для размножения						
15.	Воздействие на репродуктивные функции (женского пола), ОЭСР, стандарт тестирования 452, NOAEL, мг/кг	3.225	2.900	3.440	3.100	2.780
16.	Воздействие на репродуктивные функции, ОЭСР, стандарт тестирования 452, NOAEL, мг/кг	1.000	0.966	1.074	0.985	1.102
17.	Тератогенность. Стандарт тестирования 452, мг/кг	1.075	1.012	0.987	1.114	1.063
18.	Острая токсичность для водной среды LC ₅₀ /96 Pimephales promelas (гольян) EPA-821-R-021-012 & ASTM E729-96 мг/л	1189	1000	1226	993	1048
19.	Острая токсичность для водной среды LC ₅₀ /96 Ceriodaphnia dubia (водяная блоха) EPA-821-R-021-012 & ASTM E729-96 мг/л	12.3	10.9	11.6	10.2	11.4
20.	Алюминия хлорид, мг/л	243	225	270	219	255
21.	Максимальная концентрация Al, мг/л	0.156	0.177	0.133	0.191	0.174
22.	Daphnia magna (дафния) OECD TG 202, мг/л	98	100	92	106	99
23.	Daphnia magna (дафния) OECD TG 202, EC ₅₀ (в пересчете на Al), мг/л	24	21	27	19	25
24.	EC50/72 Pseudokirchnerella subcapitata (зеленые водоросли) статический тест OECD TG 201, мг/л	15.6	14.3	14.9	15.8	15.3
25.	EC50/72 Pseudokirchnerella subcapitata (зеленые водоросли) статический тест OECD TG 201 EC50 (в пересчете на Al), мг/л	3.8	4.2	4.5	4.1	3.9
26.	NOEC/72 Pseudokirchnerella subcapitata (зеленые водоросли) статический тест OECD TG 201, мг/л	1.10	0.99	0.96	1.13	1.04
27.	NOEC/72 Pseudokirchnerella subcapitata (зеленые водоросли) статический тест OECD TG 201 EC50 (в пересчете на Al), мг/л	0.27	0.22	0.24	0.18	0.25
28.	Кодекс риска, баллы	80	83	80	77	82
29.	Содержание летучих органических соединений, %	7.6	8.0	7.9	8.4	6.9

в более крупные хлопья за счет изменения их электрохимического потенциала. Предварительно частицы дестабилизируются коагуляцией, после этого в воду добавляются растворы флокулянтов. В результате на поверхности образуются хлопья белой пены, так как собранные частицы начинают подниматься вверх.

Наибольшее распространение в очистке промышленных и сточных вод получили полимерные флокулянты – полиэлектролиты, растворимые в воде. При обработке они обеспечивают быстрое разделение коагулянтов воды на твердые и жидкие фракции.

Флокулянты широко применяются на различных станциях водоочистки, очистных сооружениях и водозаборах, способствуют обеспечению

должного уровня качества воды, применяемой в хозяйственных и бытовых целях. Поскольку проблема водоочистки в городах стоит достаточно остро, такие реагенты становятся все более востребованными. Широкие возможности применения также сделали их удобными для использования в частных и общественных бассейнах различных типов [4].

Тем не менее, флокулянты, являясь химическими реагентами, способны оказывать определенное негативное воздействие как на окружающую среду, так и на состояние здоровья населения. Следовательно, проблема выбора для использования в технологическом процессе флокулянтов с минимальным уровнем экологического риска является вполне актуальной.

Таблица 4

Результаты ранжирования и суммирования рангов для различных составов флокулянтов

№ п/п	Состав №1	Состав №2	Состав №3	Состав №4	Состав №5
1.	4.5	1	2	4.5	3
2.	2	3.5	1	3.5	5
Острая токсичность					
3.	5	1	3	4	2
4.	2	5	3	1	4
5.	3	2	4	1	5
6.	2.5	5	2.5	1	4
7.	5	2	4	1	3
8.	1	5	3	4	2
Токсичность при долговременном воздействии					
9.	5	2.5	4	1	2.5
10.	5	3	1.5	1.5	4
11.	3.5	2	5	1	3.5
12.	4	1	5	2	3
13.	4	2	3	1	5
14.	2	4	1	5	3
Токсичность для размножения					
15.	2	4	1	3	5
16.	3	5	2	4	1
17.	1	4	5	3	2
18.	2	4	1	5	3
19.	1	4	2	5	3
20.	3	4	1	5	2
21.	4	2	5	1	3
22.	4	2	5	1	3
23.	3	4	1	5	2
24.	2	5	4	1	3
25.	5	2	1	3	4
26.	2	4	5	1	3
27.	1	4	3	5	2
28.	2.5	5	2.5	1	4
29.	2	4	3	5	1
Сумма рангов	86	96	83,5	79,5	90

Для сравнения различных составов флокулянтов по ансамблю характеристик применялся алгоритм, описанный выше.

В табл. 3 представлены основные параметры, характеризующие негативное воздействие различных флокулянтов на окружающую среду и состояние здоровья населения, в табл. 4 – результаты ранжирования и суммирования рангов.

Анализируя результаты ранжирования и суммирования рангов для различных составов флокулянтов, можно заключить, что наименьшим уровнем негативного воздействия на окружающую среду и состояние здоровья населения по совокупности параметров характеризуется реагент “Состав №4” (сумма рангов по ансамблю характеристик, равная 79,5, является минимальной в данной группе) (табл. 4).

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о целесообразности использования метода ранжирования с последующим суммированием рангов для адекватного и эффективного сравнения химических реагентов с целью обоснованного выбора для использования в различных технологических процессах составов, характеризующихся минимальными уровнями экологических рисков и негативного воздействия на состояние здоровья населения. Предложенный метод может эффективно применяться и в других сферах деятельности для решения задач сравнения объектов по совокупности сопоставимых характеристик. Следует особо отметить, что при достаточно высокой эффективности метода для его реализации не требуется осуществление сложных математических расчетов и использование специализированных программных средств.

Литература

1. Морзак, Г.И. Экологические риски воздействия тяжелых металлов на организм человека / Г.И. Морзак, И.В. Ролевич. – Минск: БНТУ, 2011. – 203 с.
2. Аринчин, Н.И. Здравосозидание / Н.И. Аринчин. – Минск, 1998. – 48 с.
3. Шамсиев, З.З. Совершенствование технологий противообеденительной обработки воздушных судов [Электронный ресурс] / З.З. Шамсиев. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-tehnologiy-protivoobledenitelnoy-obrabotki-vozdushnyh-sudov/>. – Дата доступа: 04.12.2020.
4. Флокулянты для очистки воды – коммунальной и сточной [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bwt.ru/useful-info/flokulyanty-dlya-ochistki-vody-kommu-nalnoy-i-stochnoy/>. – Дата доступа: 04.12.2020.
5. Арсюткин, Н.В. Экспертный подход к анализу динамических процессов / Н.В. Арсюткин, С.А. Лаптёнок, И.В. Лазар // Медико-биологические аспекты аварии на Чернобыльской АЭС. – 2007. – №2. – С.14–16.
6. Бубнов, В.П. Решение задач экологического менеджмента с использованием методологии системного анализа / В.П. Бубнов, С.В. Дорожко, С.А. Лаптёнок. – Минск: БНТУ, 2009. – 266 с.
7. Лаптёнок, С.А. Метод экспертных оценок в экологическом менеджменте предприятия / С.А. Лаптёнок // Экология на предприятии. – 2012. – №3. – С.91–95.
8. Лаптёнок, С.А. Объективизация субъективных суждений методом экспертного оценивания информации / С.А. Лаптёнок [и др.] // Научные горизонты. – 2020. – №8. – С.79–86.

METHOD OF COMPARATIVE ASSESSMENT OF NEGATIVE IMPACT OF INDUSTRIAL AND HOUSEHOLD REAGENTS ON HEALTH STATUS OF POPULATION

¹ S.A.Laptyonok, ² A.I.Navitskaya, ³ E.V.Shavyaka, ¹ S.A.Horeva, ¹ A.A.Kologrivko, ⁴ I.V.Lazar, ¹ A.D.Nevgin, ¹ Kh.M. al Hamad

¹ Belarusian National Technical University, 65, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus

² UE “Water Systems of the Industrial Park”, Chinese-Belarusian Industrial Park “Great Stone”, 18, Pekin Ave., 222210, Smolevichy District, Minsk Region, Republic of Belarus

³ RUE “National Airport Minsk”, the Territory of the National Airport “Minsk”, 220054, Minsk, Republic of Belarus

⁴ Republican Scientific and Practical Center for Medical Technologies, Informatization, Administration and Management of Health (RSPC MT), 7a, P.Brovki Str., 220013, Minsk, Republic of Belarus

Method is presented of comparative assessment of negative impact on environment and population health status of some industrial reagents, used in technological processes in aviation and communal sphere. This method is based on values ranking of relevant characteristics of analyzing compositions.

Keywords: health status of population; industrial and household reagents; negative impact; method of comparative assessment.

Сведения об авторах:

Лаптёнок Сергей Антонович, канд. техн. наук, доцент; Белорусский национальный технический университет, факультет горного дела и инженерной экологии, кафедра «Инженерная экология»; тел.: (+37529) 6257828; e-mail: 267413@mail.ru.

Новицкая Александра Игоревна, магистр техн. наук; Китайско-Белорусский индустриальный парк «Великий камень», УП «Водные системы индустриального парка», зам. главного инженера; тел.: (+37529) 3326556; e-mail: navitskaya@greatwater.by.

Шавяка Евгений Владимирович, магистр техн. наук; РУП «Национальный аэропорт Минск», отдел охраны труда, промышленной безопасности и охраны окружающей среды, инженер по охране окружающей среды; тел.: (+37544) 7959537; e-mail: shavyaka_evgenii@mail.ru.

Хорева Светлана Алексеевна, д-р биол. наук, профессор; Белорусский национальный технический университет, факультет горного дела и инженерной экологии, кафедра «Инженерная экология»; тел.: (+37529) 6857939; e-mail: horeva.svetlana@mail.ru.

Кологривко Андрей Андреевич, канд. техн. наук, доцент; Белорусский национальный технический университет, декан факультета горного дела

и инженерной экологии; тел.: (+37529) 6840510; e-mail: kologrivko@tut.by.

Лазар Ирина Владимировна; ГУ «Республиканский научно-практический центр медицинских технологий, информатизации, управления и экономики здравоохранения», лаборатория основ стандартизации и оценки медицинских технологий, старший научный сотрудник; тел.: (+37529) 5564543; e-mail: irina-lazzar@mail.ru.

Невгин Александр Дмитриевич; Белорусский национальный технический университет, факультет горного дела и инженерной экологии, кафедра «Инженерная экология», аспирант; тел.: (+37529) 5557018; e-mail: alexander.nevgin@outlook.com.

Ель Хамад Халед Мохамад; Белорусский национальный технический университет, факультет горного дела и инженерной экологии, кафедра «Инженерная экология», аспирант; тел.: (+37529) 9784019; e-mail: khaled-alhamad@hotmail.com.

Поступила 11.12.2020 г.