ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРЯДКА ВЫБОРА ЭКОЛОГООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ ЗАКРЫТИИ ШАХТ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ

В.Н. Павлыш, Е.И. Казакова

Донецкий национальный технический университет, Донецк, Донецкая Народная Республика
pavlyshvn@mail.ru, kazakova_donetsk@mail.ru

Аннотация. Обоснована методика определения порядка выполнения природоохранных мероприятий на основе матричного представления условий задачи и применения математических методов обработки информации. Предлагается алгоритм установления порядка выполнения мероприятий по охране окружающей среды при закрытии угольных шахт в условиях ограниченного финансирования. При закрытии шахт природоохранным законодательством предусмотрено выполнение ряда важных технических мероприятий, обеспечивающих сохранение окружающей среды в зоне влияния предприятия. Предложен метод, основанный на определении степени риска каждого фактора экологической опасности, которая и позволяет «расставить» природоохранные мероприятия по «рангу». Определены основные аспекты негативного воздействия на окружающую среду густонаселенных шахтерских регионов. Степень экологического риска, с точки зрения использования его для установления периодичности выполнения природоохранных мероприятий, является критериальным фактором, определяемым на основе коллегиального принятия решения всех заинтересованных участников процесса. Определены числовые характеристики, составляющие базу для принятия решения. Для оценки степени экологического риска данные экспертных оценок представляются в форме матрицы, что позволяет формализовать процесс принятия решения о периодичности выполнения природоохранных мероприятий. В процессе формирования матрицы экспертных рейтинговых оценок учтены все показатели, определяющие степень экологического риска. При этом среди показателей присутствуют такие, которые имеют физическую природу и измеряются физическими величинами, и такие, которые имеют логическую сущность и характеризуются как «да» или «нет».

Ключевые слова. Экологоохранные мероприятия, закрытие шахт, риск, окружающая среда, безопасность, рейтинговая матрица.

Введение. При закрытии шахт природоохранным законодательством предусмотрено выполнение ряда важных технических мероприятий, обеспечивающих сохранение окружающей среды в зоне влияния предприятия. Финансирование этих мероприятий производится из госбюджета, и в случае, когда средства поступают в полном объеме, порядок выполнения работ не имеет существенного значения, он определяется волевым решением руководства, исходя из производственного опыта. Если же финансирование с началом работ в полной мере не обеспечивается, возникает задача определения порядка выполнения мероприятий в зависимости от степени отрицательного влияния факторов на состояние окружающей среды. В этой связи тема работы является актуальной.

Цель работы – обоснование методики определения порядка выполнения природоохранных мероприятий на основе матричного представления условий задачи и применения математических методов обработки информации.

Основное содержание. Для количественной поддержки решения о порядке проведения работ предлагается метод, основанный на определении степени риска каждого фактора экологической опасности,

которая и позволяет «расставить» природоохранные мероприятия по «рангу» [1; 2].

Основными аспектами негативного воздействия на окружающую среду густонаселенных шахтерских регионов являются следующие [2; 3; 5]:

- воздействие на гидрогеологическую среду. Процесс освоения угольного месторождения связан с постоянной откачкой шахтных вод и образованием, вследствие этого, депрессионных воронок, нарушающих в горном массиве и водоносных горизонтах естественную динамику подземных вод и их качество, существенно изменяющих режим грунтовых вод. При ликвидации шахт установившийся гидродинамический режим подземных вод вновь претерпевает изменения, вызывая в ряде случаев негативное влияние на водозаборы и земную поверхность;
- воздействие на геологическую среду. Для всех ликвидируемых шахт проявляется в виде дополнительных деформаций земной поверхности;
- воздействие на атмосферный воздух. Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха продолжают быть породные отвалы, трубы котельных, склады угля, а при физической ликвидации, кроме того, строительные отходы от разрушения зданий и сооружений технологического комплекса;

- воздействие на водные объекты. Основным источником отрицательного воздействия, так же, как и в предликвидационный период, являются шахтные воды, в составе которых концентрации отдельных ингредиентов превышают допустимые нормы;
- воздействие на земельные ресурсы. Заключается в загрязнении почвы и отчуждении земель для размещения породных отвалов, промышленных отходов, образующихся при разрушении зданий и сооружений, золошлаков котельных и иных продуктов процесса производства работ;
- к источникам физического воздействия относятся вентиляторные установки – источники шума, а также подстанции, трансформаторы, линии электропередач – источники электромагнитного излучения. В принципе, их воздействие на окружающую природную среду весьма ограничено, т.к. все они сооружались с соблюдением размеров санитарно-защитных зон (СЗЗ). В процессе ликвидации шахт большинство из них присутствует после закрытия шахты.

Проекты ликвидации шахт содержат технические решения по предотвращению негативного влияния основных источников техногенного воздействия на окружающую среду. К ним относятся следующие [2; 4; 6]:

- породные отвалы. Необходимо проводить тушение, понижение, переформирование, рекультивацию и озеленение;
- пруды-отстойники (накопители) шахтных вод. Необходимо выполнять чистку прудов и обеспечить организацию обеззараживания воды (при действующих водоотливных комплексах) или ликвидацию, рекультивацию и озеленение (при прекращении работы водоотливов);
- восстановление нарушенных земель: рекультивация промышленных площадок, ликвидация провалов и деформаций земной поверхности.

Работы по стабилизации гидродинамической ситуации подземных вод на территории горного отвода ликвидируемой шахты, предотвращение возможных аварийных ситуаций на соседних шахтах, связанных с перепуском на них шахтных вод ликвидируемых шахт, строительство водоотливных комплексов для откачки подземных вод, а также дренажных систем на поверхности являются приоритетными и относятся к разделу проектов «Ликвидация последствий закрытия шахты», в связи с чем не рассматриваются в данном случае. Приоритетными, не подлежащими ранжированию, являются также работы по обеспечению радиологической безопасности территорий ликвидируемых шахт.

Очередность выполнения природоохранных мероприятий объективно отражает текущую ситу-

ацию при условии учета степени экологического риска [6] дифференцированного воздействия отдельных объектов окружающей среды на экологическую ситуацию в регионе. При этом степень экологического риска, с точки зрения использования его для установления периодичности выполнения природоохранных мероприятий, является критерияльным фактором, определяемым на основе коллегиального принятия решения всех заинтересованных участников процесса [1; 3; 5].

Количественное обоснование решения об установлении очередности выполнения мероприятий проводится в три этапа:

- формирование таблиц экспертных оценок;
- построение матрицы рейтинговой оценки;
- заполнение карты приоритетов.

Числовые характеристики, составляющие базу для принятия решения, определяются исходя из следующих соображений:

- для каждой конкретной экологической проблемы (формы воздействия отдельных объектов на окружающую среду) определяющим фактором является возможное негативное влияние ее на здоровье населения, размер предполагаемого ущерба, прогнозных затрат и времени на устранение угрозы (возможны и другие дополнительные критерии). При этом, устанавливается количественная (бальная) оценка степени воздействия отдельных объектов;

- все объекты воздействия на окружающую среду, за исключением малозначительных (для условий ликвидации шахт – это сварочные посты, автотранспорт и некоторые другие), оцениваются по 4-х бальной системе (малая, средняя, высокая и очень высокая или критическая степень риска), отражающей степень экологической опасности каждого объекта;

- сведения по каждому объекту воздействия должны быть как можно более полными. Все они оформляются в таблицы экспертных оценок, включающие как оценочные критерии, так и факторы, влияющие на их количественную характеристику;

- таблицы представляются к рейтинговой оценке при условии, что по каждой из них будет выдано численное, по четырёхпольной системе, заключение всех заинтересованных организаций – заказчиков проектов (ГХК, ПО, самостоятельных шахт), региональных экологических и санитарных организаций, органов местной исполнительной власти, общественности и основной производственной организации, выполняющей ликвидационные работы на шахтах.

Таблицы экспертных оценок формируются на основе следующих принципов [4; 5]:

– для оценки степени экологического риска данные экспертных оценок представляются в форме матрицы, что позволяет формализовать процесс принятия решения о периодичности выполнения природоохранных мероприятий;

– поскольку, однозначно в определении очередности выполнения природоохранных работ при ликвидации шахты приоритет отдается обеспечению радиологической безопасности территории, и недопущению затопления площадей, на которых расположены объекты социального и промышленного значения, жилые постройки и приусадебные участки, то остается необходимость рассмотрения очередности оставшихся работ в этом направлении – обеспечение чистоты атмосферного воздуха в санитарной зоне единственного оставшегося источника загрязнения – природного отвала и рекультивация нарушенных земель. Рекультивация нарушенных земель может производиться в последнюю очередь после окончания работ по физической ликвидации шахты – планировке промплощадок на месте разрушенных зданий и промышленных сооружений. Таким образом, остается решить задачу очередности выполнения работ на породных отвалах;

– породные отвалы по месту расположения относятся к двум группам – находящиеся в населенных пунктах и расположенные вне населенных пунктов;

– вторая важная характеристика отвалов – их тепловое состояние – горящие и не горящие;

– каждый породный отвал имеет свои параметры – объем, площадь, высоту. Составом пород и их физико-механическими свойствами можно при решении нашей задачи пренебречь, так как с точки зрения обеспечения экологической безопасности они не представляют интереса. В принципе тепловое состояние – горение или не горение – определяется наличием достаточного количества серы, углерода, химической активностью углей и деструкцией компонентов органического происхождения;

– в процессе формирования матрицы экспертных рейтинговых оценок необходимо учесть все показатели, определяющие степень экологического риска. При этом среди показателей будут присутствовать как такие, которые имеют физическую природу и измеряются физическими величинами, так и такие, которые имеют логическую сущность и характеризуются как «да» или «нет» («1» или «0»);

– для того, чтобы иметь возможность формального оперирования со всеми показателями, наряду с физической величиной производится оценка в безразмерных величинах (баллах). Это потребует

для каждого показателя задавать шкалу оценок, но выработав такую шкалу один раз, дальше можно алгоритмизировать процесс оценки, что позволит решать задачу с помощью компьютера.

Допустим, принята шкала 10 баллов. В таком случае для породных отвалов (параметр – высота в метрах) устанавливаем соответствие:

Таблица 1 – Шкала породных отвалов

Высота, м	До 10 м	11 м – 20 м	21 м–30 м	31 м–40 м	41 м–50 м	51 м–60 м	61 м–70 м	71 м–80 м	81 м–90 м	91 м–100 м	свыше 100 м
Балл	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Установив аналогично шкалу для всех показателей, в том числе логических, можно представить таблицу в следующем виде:

Таблица 2 – Обобщенная таблица показателей

№ п/п	Объект	Показатель		Степень экологического риска			
		Физ. вел-на	Балл	низкая	средняя	высокая	критическая
1	2	3	4	5	6	7	8

Заполненная таким образом таблица количественно характеризует объект по установленному числу разделов.

Согласно 10-балльной шкале, каждый показатель отмечается единицей в одной из граф №№ 5, 6, 7, 8 (что соответствует «попаданию» показателя в соответствующие ранги экологического риска от низкой до критической степени) по принципу:

Таблица 3 – Показатели и ранги экологического риска

Балл	0–2	3–5	6–8	9–10
Степень	низкая	средняя	высокая	критическая

Каждый из разделов при этом имеет формальную оценку в виде вектора, координаты которого получаются суммированием по графам №№ 5, 6, 7, 8.

Если все разделы имеют одинаковый вес и равное влияние, то достаточно просуммировать оценки по всей таблице, и получим вектор, дающий возможность установить рейтинг соответствующего мероприятия.

Матрица рейтинговой оценки строится на основе таблиц экспертных оценок по следующей форме:

Таблица 4 – Матрица рейтинговых оценок

Мероприятие	Баллы			Степень экологического риска							
	Количество показателей	Сумма баллов	Средний балл	низкая		средняя		высокая		критическая	
				значение	%	значение	%	значение	%	значение	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Породные отвалы											
Пруды-отстойники											
Нарушенные земли											
...											

Здесь строки матрицы соответствуют мероприятиям, столбцы – их количественной оценке по степени экологического риска.

Данные заносятся в столбцы таким образом:

- количество показателей (столбец 2) – общее число факторов, которым дана оценка в графе 4 экспертной таблицы;
- сумма баллов (столбец 3) – сумма данных по графе 4 экспертной таблицы;
- средний балл (столбец 4) – результат деления оценки столбца 3 на столбец 2;
- оценка показателей степени экологического

риска (низкая, средняя, высокая, критическая) – сумма данных по графам 5, 6, 7, 8 (соответственно) оценочной таблицы;

– процент степени экологического риска – результат деления показателя по каждой из граф 5, 6, 7, 8 на показатель столбца 3 матрицы.

Полученные таким образом результаты и образуют матрицу рейтинговых оценок.

На основании матрицы рейтинговых оценок заполняется карта приоритетов; показатель риска представляет собой сумму баллов высокой и критической степеней экологического риска.

Таблица 5 – Карта приоритетов

Объект воздействия	Степень экологического риска				Показатель риска	Очередность выполнения работ
	низкая	средняя	высокая	критическая		
Породные отвалы						
Пруды-отстойники						
Нарушенные земли						
...						

Очередность выполнения работ [7] устанавливается по убывающей величине показателя риска от максимального до минимального.

Выводы. Количественная оценка, принятая коллективно специалистами, позволяет установить рейтинг разработки и реализации специальных мероприятий по снижению негативного влияния конкретного объекта на окружающую среду.

Принятое коллегиальное решение по установлению степени экологического риска каждого объекта является легитимным обоснованным аргументом для разработки проектными организациями не только параметров технических решений, обеспечивающих экологическую безопасность, но и планировать их выполнение во времени.

Литература

1. Pavlysh V.N. Introduction to discrete mathematics (Summary of lectures). – Donetsk, DonNTU, 2006. – 60 p.
2. Технологии обеспечения экологической и техногенной безопасности горнодобывающих регионов при ликвидации угледобывающих предприятий Украины. Монография. / Бузило В.И., Гребёнкин С.С., Ермаков В.Н., Павлыш В.Н., Рябичев В.Д., Павличенко А.В. // Под общ. ред. В.И. Бузило и С.С. Гребёнкина. – Днепропетровск: Литограф, 2013. – 348 с.

3. Прогрессивные технологические решения по комплексному освоению ресурсного потенциала угольных месторождений: монография / [Мельник В.В., Павлыш В.Н., Гребенкин С.С., Кузнецов Ю.Н., Корчагина Т.В., Селиванова А.Г., Гребёнкина А.С., Шабловский А.В., Шаймардянов И.К., Новосельцев С.А., Лапшин А.В., Капитула С.П., Курбанов Г.К.] // Под общ. ред. Мельника В.В. и Павлыша В.Н. – Донецк: «ВИК», 2015. – 340 с.
4. Организационно-технологическое и научно-методическое обеспечение проектирования угледобывающих предприятий: монография / В.В. Мельник, В.В. Агафонов, С.С. Гребёнкин, В.Н. Павлыш, В.В. Агафонов, С.А. Новосельцев, А.К. Носач, Г.И. Соловьёв, П.Е. Хрисанов, П.Я. Гродзинский, И.В. Савченко, Н.Б. Ковалёв, Г.И. Волошко // Под общ. ред. проф. Мельника В.В. и проф. Агафопова В.В. – Донецк: «ВИК», 2015. – 380 с.
5. Геоэкологические и экономико-математические аспекты обеспечения безопасных технологий угольных комплексов: монография / [С.С. Гребёнкин, В.Н. Павлыш, В.Д. Рябичев, В.В. Мельник, В.М. Теросипов, В.Д. Мороз, М.В. Миньковская, Г.И. Волошко, В.Г. Турчанин]; под общ. ред. С.С. Гребёнкина и В.Н. Павлыша. – Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2016. – 340с.
6. *Kazakova E., Kolomytseva A., Boenko T.* Structural and functional model of the potentially dangerous territory of Donbass as an economic region, *European journal of Humanities and Social Science* №6 2018 Premier Publishing s.r.o., Vienna, Austria, – Pp.162–167.
7. *Kazakova E., Kolomytseva A., Medvedeva M.* Interaction Risk Assessment in Partner Entrepreneurial Networks 15th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, ICNAAM 2017, American Institute of Physics Inc., ISBN 978-0-7354-1690-1. <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5044042>

APPLICATION OF MATHEMATICAL METHODS TO THE SOLUTION OF THE PROBLEM OF DETERMINING THE PROCEDURE FOR CHOOSING ENVIRONMENTAL ACTIONS WHEN CLOSING MINES UNDER THE CONDITIONS OF LIMITED FINANCING

V.N. Pavlysh, E. Kazakova

Donetsk National Technical University, Donetsk, Donetsk People's Republic.

pavlyshvn@mail.ru kazakova_donetsk@mail.ru

Abstract. The methodology for determining the procedure for environmental protection on the basis of a matrix representation of the conditions of the problem and the application of mathematical methods of information processing is substantiated. An algorithm is proposed for establishing the procedure for environmental protection during the closure of coal mines with limited funding. When mines are closed, environmental legislation provides for the implementation of a number of important technical measures ensuring the preservation of the environment in the zone of influence of the enterprise. A method is proposed that is based on determining the degree of risk of each environmental hazard factor, which allows one to "rank" environmental measures according to their "rank". The main aspects of the negative environmental impact of densely populated mining regions are identified. The degree of environmental risk, from the point of view of using it to establish the frequency of environmental protection measures, is a criterial factor, determined on the basis of collegial decision-making by all interested participants in the process. The numerical characteristics that form the basis for decision making are determined. To assess the degree of environmental risk, the data of expert assessments are presented in the form of a matrix, which allows us to formalize the decision-making process on the frequency of environmental protection measures. In the process of forming a matrix of expert rating estimates, all indicators that determine the degree of environmental risk are taken into account. Moreover, among the indicators there are those that have a physical nature and are measured by physical quantities, and those that have a logical essence and are characterized as "yes" or "no".

Keywords: Environmental protection measures, mine closure, risk, environment, safety, rating matrix.

References

1. Pavlysh V.N. Introduction to discrete mathematics (Summary of lectures). – Donetsk, DonNTU, 2006. – 60 p. (In English)
2. Technologies for ensuring environmental and technological safety of mining regions during the liquidation of coal mining enterprises of Ukraine. Monograph. / Buzilo V.I., Grebenkin S.S., Ermakov V.N., Pavlysh V.N., Ryabichev V.D., Pavlichenko A.V. // Under the general. ed. IN AND. Buzilo and S.S. Grebenkina. – Dnepropetrovsk: Lithograph, 2013. -- 348 p.: (In Russian)
3. Progressive technological solutions for the integrated development of the resource potential of coal deposits: monograph / [Melnik V.V., Pavlysh V.N., Grebenkin S.S., Kuznetsov Yu.N., Korchagina T.V., Selivanova A.G., Grebenkina A.S., Shablovsky A.V., Shaimardyanov I.K., Novoseltsev S.A., Lapshin A.V., Kapitula S.P., Kurbanov G.K.] // Under the general. ed. Melnik V.V. and Pavlysha V.N. – Donetsk: "VIC", 2015. – 340 p.: (In Russian)
4. Organizational, technological and scientific and methodological support for the design of coal mining enterprises: monograph / V.V. Melnik, V.V. Agafonov, S.S. Grebenkin, V.N. Pavlysh, V.V. Agafonov, S.A. Novoseltsev, A.K. Nosach, G.I. Soloviev, P.E. Khrisanov, P.Ya. Grodzinsky, I.V. Savchenko, N.B. Kovalev, G.I. Voloshko // Under the general. ed. prof. Melnik V.V. and prof. Agafonova V.V. – Donetsk: "VIC", 2015. – 380 p.: (In Russian)
5. Geoecological and economic-mathematical aspects of ensuring safe technologies for coal complexes: monograph / [S.S. Grebenkin, V.N. Pavlysh, V.D. Ryabichev, V.V. Melnik, V.M. Terosipov, V.D. Frost, M.V. Minkovskaya, G.I. Voloshko, V.G. Turkish citizen]; under the general. ed. S.S. Grebenkina and V.N. Pavlysha. – Lugansk: Publishing house "Knowledge", 2016. – 340 c.: (In Russian)
6. Kazakova E., Kolomytseva A., Boenko T. Structural and functional model of the potentially dangerous territory of Donbass as an economic region, European journal of Humanities and Social Science №6 2018 Premier Publishing s.r.o., Vienna, Austria, – Pp. 162–167.: (In Russian)
7. Kazakova E., Kolomytseva A., Medvedeva M. Interaction Risk Assessment in Partner Entrepreneurial Networks 15th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, ICNAAM 2017, American Institute of Physics Inc., ISBN 978–0–7354–1690–1. <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5044042> (In English)