

## ОЦЕНКА РИСКОВ В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ТРУДА НА ШАХТАХ С ПОМОЩЬЮ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

<sup>1</sup>Шевченко В.Г., <sup>2</sup>Носаль Д.А.

<sup>1</sup>Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, <sup>2</sup>ООО «ДТЭК ЭНЕРГО»

## ОЦІНКА РИЗИКІВ В ГАЛУЗІ ОХОРОНИ ПРАЦІ НА ШАХТАХ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

<sup>1</sup>Шевченко В.Г., <sup>2</sup>Носаль Д.О.

<sup>1</sup>Институт геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, <sup>2</sup>ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО»

## RISK ASSESSMENT OF MINE LABOR SAFETY BY FUZZY LOGIC

<sup>1</sup>Shevchenko V.G., <sup>2</sup>Nosal D.A.

<sup>1</sup>Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov NAS of Ukraine, <sup>2</sup>«DTEK ENERGO» LLC

**Аннотация.** В настоящее время на предприятиях бизнес-блока Уголь ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» используется процедура идентификации опасностей и оценки рисков которая включает: идентификацию опасностей и рисков, оценку риска и определение уровня управления риском, разработку мер контроля и минимизации, реализацию мероприятий, мониторинг и пересмотр. По каждой производственной операции определяются: существующие источники опасности или возможные опасные ситуации; потенциальные последствия их воздействия на людей, производственный процесс и/или объекты собственности; применяемые в настоящее время способы предупреждения опасности; определяются в баллах последствия и вероятность возможного происшествия на производстве; величина (степень) риска. По результатам оценки рисков по каждой операции составляются карты оценки рисков. Для каждого источника опасности по матрице определяется уровень риска. Оценка риска проводится на основании заключения экспертной группы. В тоже время зачастую исходные условия и предпосылки являются не четко определенными, также нельзя однозначно говорить о четкой оценке риска в соответствии с потенциальными вероятностью и последствиями, определенными экспертами. В существующей процедуре уровень риска принимает строго определённые дискретные значения. В тоже время риск является величиной непрерывной, принимающей все возможные значения в заданном диапазоне. Зачастую требуется однозначная четкая оценка риска исходя из нечетких условий и предпосылок. Предложена оценка риска с помощью методов нечеткой логики, базирующаяся на понятии нечетких множеств. В качестве входных переменных выступают потенциальная вероятность и потенциальные последствия, в качестве выходной – уровень риска, для которых выбраны треугольные функции принадлежности. В качестве алгоритма нечеткого вывода выбран алгоритм Мамдани – наиболее распространённый способ логического вывода в нечетких системах. Зависимости между входными и выходной переменными являются нелинейными, а выходная величина уровень риска никогда не достигает крайних значений в диапазонах своего изменения. Величина уровня риска будет в среднем тяготеть к средним значениям из заданных диапазонов изменения, т.е. уровень риска неравномерно распределен и диапазонах своего изменения. Предложенная оценки риска с помощью методов нечеткой логики позволяет количественно оценить уровень риска, как непрерывную величину, а также учитывает нелинейный характер зависимостей уровня риска от потенциальной вероятности и потенциальных последствий. Исходя из такой оценки, можно более обоснованно подходить к мероприятиям по снижению рисков и формированию реестра рисков неприемлемого уровня.

**Ключевые слова:** охрана труда, оценка рисков, потенциальная вероятность и последствия, уровень риска, нечеткие условия и предпосылки, функции принадлежности, алгоритм нечеткого вывода.

На предприятиях угольно-промышленного комплекса наблюдается высокий уровень аварийности, производственного травматизма и профессиональной заболеваемости [1]. Одним из основных мероприятий по повышению уровня безопасности является внедрение систем управления производством и охраной труда, основанных на управлении рисками, что регламентируется рядом

международных стандартов [2-4]. Одним из важных направлений снижения уровня аварийности и травматизма является совершенствование нормативной базы по вопросам охраны труда, в частности по определению и оценке рисков, возникающих при ведении горных работ [5]. Возникает необходимость в совершенствовании процедур идентификации опасностей и оценки рисков в области охраны труда (ОТ).

В настоящее время на предприятиях бизнес-блока Уголь ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» используется процедура идентификации опасностей и оценки рисков которая включает:

1. Идентификацию опасностей и рисков.
2. Оценку риска и определение уровня управления риском.
3. Разработку мер контроля и минимизации.
4. Реализацию мероприятий.
5. Мониторинг и пересмотр.

Идентификация опасностей и оценка рисков проводится ежегодно по результатам годовой деятельности Предприятия, а также с учетом опасностей и рисков от деятельности подрядных организаций, осуществляющих свою деятельность на объектах Предприятия.

Для идентификации опасностей учитываются следующие исходные данные деятельности Предприятия:

- наблюдение за производственной средой на рабочем месте;
- операции, выполняемые на рабочем месте, чтобы учесть их при оценке риска;
- внешние факторы, воздействующие на рабочее место;
- наличие и состояние оборудования, механизмов и инструмента, которые несут опасность;
- наличие веществ, материалов и т.п., которые несут опасность;
- подверженный опасности персонал, посетители, подрядчики, оборудование, материалы.

Схема проведения оценки рисков представлена на рис. 1.

На начальном этапе проведения идентификации опасностей и оценки рисков на предприятиях производится распределение функциональных обязанностей между работниками предприятия при оценке риска.

Выдается распоряжение о назначении рабочих групп по оценке рисков.

Рабочими группами участков составляется и утверждается в установленном порядке план по оценке рисков (табл. 1).

План работ по оценке рисков предусматривает:

- перечень всех производственных процессов и/или рабочих мест, где необходимо провести оценку рисков;
- разбиение каждого процесса на отдельные операции или работы в последовательности их обычного выполнения работниками;
- определение приоритетов (очередности) выполнения оценки рисков в подразделении;

- по каждой операции в план вносятся производственные травмы, аварии или пожары, профессиональные заболевания за последние 3 года.



Рисунок 1 - Схема проведения оценки рисков

Таблица 1 – План по оценке рисков

Процесс	Операция	Производственные травмы за последние 3 года (дата происшествия и последствия)	Аварии или пожары за последние 3 года (дата происшествия и последствия)	Вновь выявленные профессиональные заболевания за последние 3 года (год и диагноз)	Приоритет (очередность оценки рисков)

По каждой производственной операции:

- определяются существующие источники опасности (объекты, оборудование) или возможные опасные ситуации, которые классифицируются в соответствии с типовым перечнем видов опасности;
- определяются потенциальные последствия его воздействия на людей, производственный процесс и/или объекты собственности;
- определяются применяемые в настоящее время способы предупреждения опасности (инженерные, организационные, обучение и информирование персонала, средства индивидуальной и коллективной защиты и пр.);
- определяются (в баллах) последствия и вероятность возможного происшествия на производстве;
- определяется величина (степень) риска.

По результатам оценки рисков, по каждой операции составляются карты оценки рисков.

Работники должны быть проинформированы о соответствующих результатах оценки рисков. Копии карт оценки риска должны быть доступны для работников.

Карты оценки рисков должны быть использованы при проведении инструктажей на рабочем месте и разработке инструкций по охране труда.

Для каждого источника опасности по матрице определяется уровень риска (табл. 2).

Риск, уровень которого оценивается в 8–15 баллов, подлежит первоочередному устранению или снижению до приемлемого уровня.

Если устранение или снижение риска не представляется возможным, связанные с ним работы должны быть прекращены в установленном порядке.

Таблица 2 – Матрица оценки уровня рисков

Потенциальные последствия		Потенциальная вероятность		
		Низкая	Средняя	Высокая
		1 балл	2 балла	3 балла
Травма с оказанием первой помощи, нет очевидного риска профессионального заболевания	1 балл	1	2	3
Травма с лечением пострадавшего без утраты им трудоспособности	2 балл	2	4	6
Травма с утратой трудоспособности, отравление или риск профессионального заболевания	3 балла	3	6	9
Смертельная травма одного человека или травма с утратой трудоспособности 2-х человек и более	4 балла	4	8	12
Смертельная травма двух или более человек	5 баллов	5	10	15
<b>Низкий уровень риска</b>		<b>Средний уровень риска</b>		<b>Высокий уровень риска</b>
1-2 балла    Зеленый цвет		3-6 балла    Желтый цвет		8-15 балла    Красный цвет

При формировании программ, планов (в т.ч. финансовых) первоочередным направлением является устранение или снижение рисков неприемлемого уровня.

Реестр рисков неприемлемого уровня вносится как приложение к приказу (распоряжению) по предприятию «О целях и задачах по ОТ на год» с указанием ответственных за выполнение мероприятий.

Выявленные проблемы внедрения и недостатки существующей системы идентификации и оценки рисков сводятся к следующему.

Проблемы внедрения:

- оценка рисков выполняется специалистами по технике безопасности Предприятия, к ней не привлекаются исполнители работ;
- производственники не видят практического применения;
- методика оценки усложняется, «обрастает» бумагами, отторгается исполнителями;
- создается стандарт и рассылается для исполнения (без обучения).

Недостатки:

- процедурой не предусмотрена оценка рисков на рабочих местах;
- огромный документооборот, препятствует доступности для исполнителей;
- вероятность и последствия – исключительно решение отдельной рабочей группы;
- не предусмотрен учет всех несчастных случаев при выполнении аналогичных операциях других участков, предприятий.

Оценка риска проводится на основании заключения экспертной группы. В тоже время зачастую исходные условия и предпосылки являются не четко определенными. Также нельзя однозначно говорить о четкой оценке риска в соответствии с потенциальными вероятностью и последствиями, определенными экспертами.

В существующей процедуре уровень риска принимает строго определённые дискретные значения. В тоже время риск является величиной непрерывной, принимающей все возможные значения, например в нормированном диапазоне от 0 до 1. Зачастую требуется однозначная четкая оценка риска исходя из нечетких условий и предпосылок.

Альтернативой может быть рекомендована процедура оценки риска с помощью методов нечеткой логики [6, 7], базирующейся на понятии нечетких множеств, предметом исследований которой является процесс рассуждения и принятия решений в условиях нечеткой, размытой информации, что характерно для процессов на шахтах [8-10].

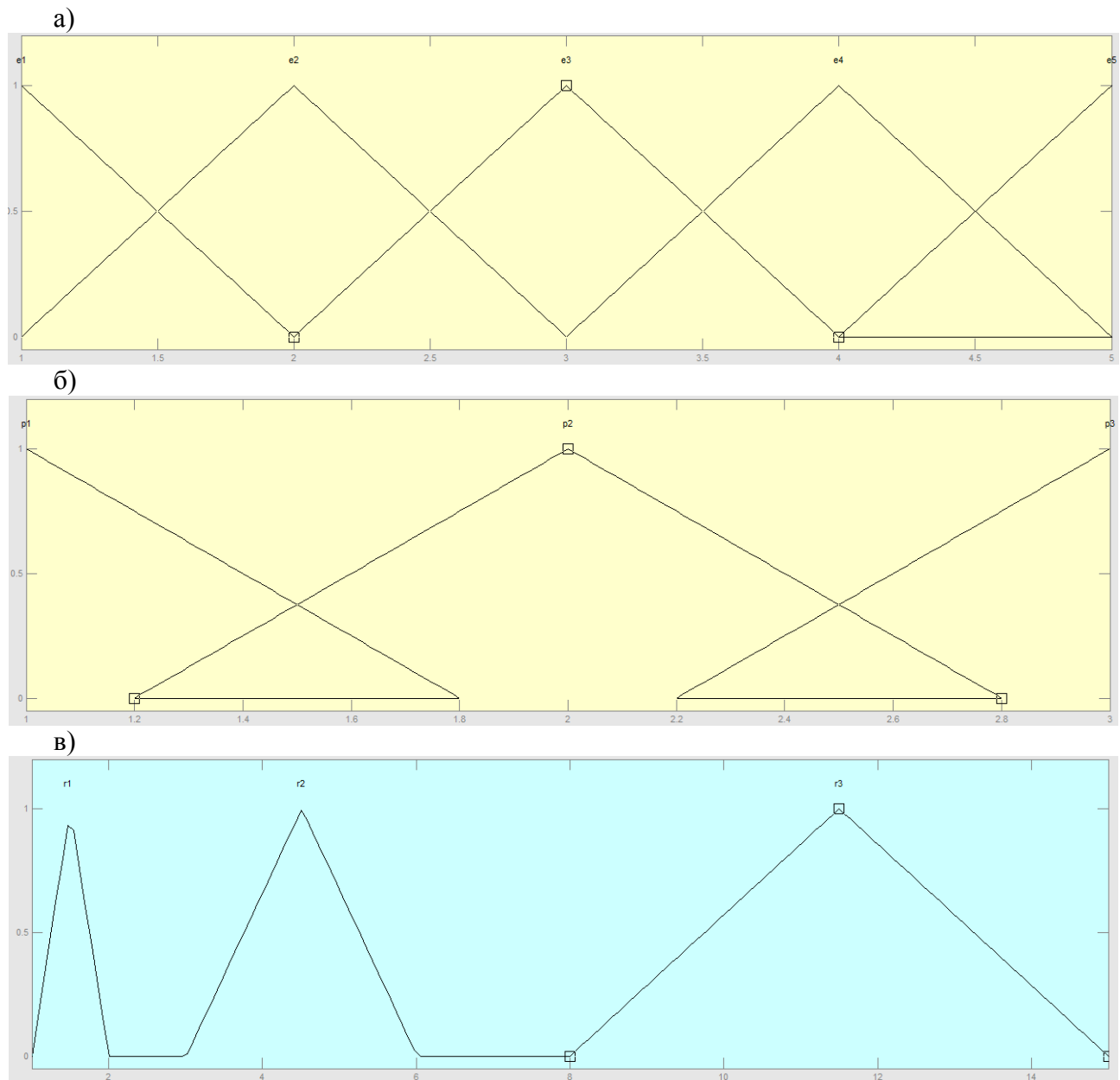
В качестве входных переменных также выступают потенциальная вероятность и потенциальные последствия, в качестве выходной – уровень риска.

Важным моментом является выбор функций принадлежности входных и выходной переменных, которая определяет степень принадлежности переменной к нечеткому множеству.

Как для потенциальной вероятности, так и для потенциальных последствий характерна неопределённость типа «приблизительно равно», «среднее значение», «находится в интервале» и т.п. Такого вида неопределенности задаются (описываются) треугольными функциями принадлежности. Такой же тип неопределенности характерен и для выходной переменной – уровень риска. Следовательно, для нее также выбрана треугольная функция принадлежности,

Диапазоны изменения входных переменных приняты те же: для потенциальной вероятности – от 1 до 3 (1 - низкая, 2 - средняя и 3 - высокая), для потенциальных последствий – от 1 до 5 (1, 2, 3, 4 и 5 баллов, соответственно). Для выходной переменной выбран диапазон изменения от 1 до 15: 1-2 балла – низкий, 3-6 баллов – средний и 8-15 баллов - высокий.

Примеры функций принадлежности с заданными диапазонами изменения параметров приведены на рис. 2.



а) потенциальная вероятность, б) потенциальные последствия, в) уровень риска

Рисунок 2 – Функции принадлежности входных и выходной переменных

Еще одним важным моментом является выбор алгоритма нечеткого вывода. В качестве алгоритма нечеткого вывода выбран алгоритм Мамдани – наиболее распространенный способ логического вывода в нечетких системах, в котором используется минимаксная композиция нечетких множеств [7].

Были заданы следующие правила нечеткого вывода:

1. (effects==e1) & (probability==p1) => (risk=r1) (1)
2. (effects==e2) & (probability==p1) => (risk=r1) (1)
3. (effects==e3) & (probability==p1) => (risk=r2) (1)
4. (effects==e4) & (probability==p1) => (risk=r2) (1)
5. (effects==e5) & (probability==p1) => (risk=r2) (1)
6. (effects==e1) & (probability==p2) => (risk=r1) (1)
7. (effects==e2) & (probability==p2) => (risk=r2) (1)

8. (effects==e3) & (probability==p2) => (risk=r2) (1)
9. (effects==e4) & (probability==p2) => (risk=r3) (1)
- 10.(effects==e5) & (probability==p2) => (risk=r3) (1)
- 11.(effects==e1 ) & (probability==p3) => (risk=r2) (1)
- 12.(effects==e2) & (probability==p3) => (risk=r2) (1)
- 13.(effects==e3) & (probability==p3) => (risk=r3) (1)
- 14.(effects==e4) & (probability==p3) => (risk=r3) (1)
- 15.(effects==e5) & (probability==p3) => (risk=r3) (1)

Все правила выбраны равнозначными с весом 1.

На рис. 3 приведена поверхность системы нечеткого вывода при оценке риска.

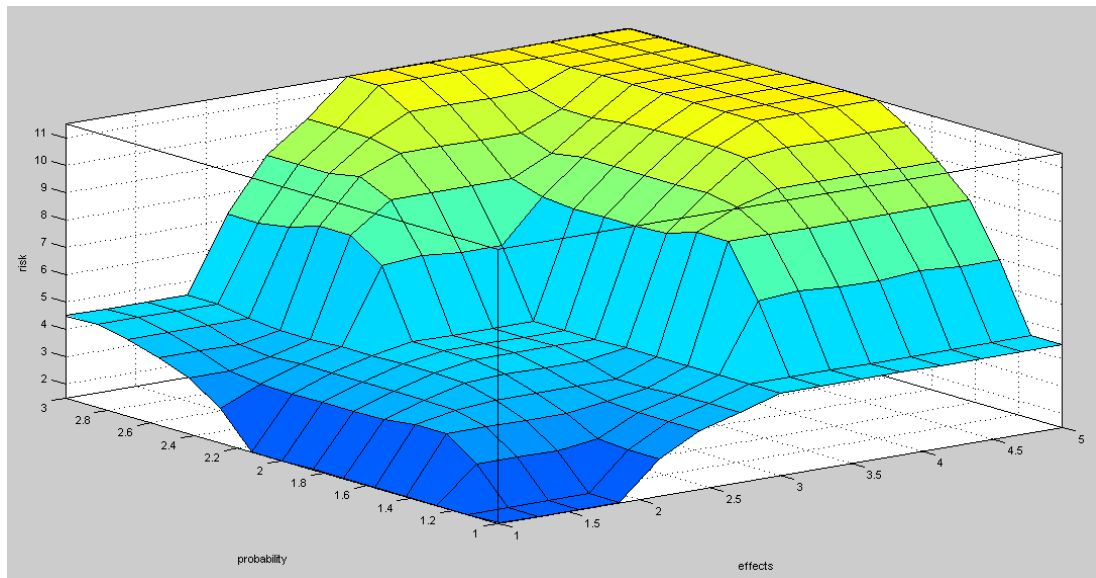


Рисунок 3 – Поверхность нечеткого вывода для входных переменных потенциальная вероятность (probability) и потенциальные последствия (effects) и выходной переменной – уровень риска (risk)

Пример оценки риска в области охраны труда на шахтах с помощью нечеткой логики приведен на рис. 4.

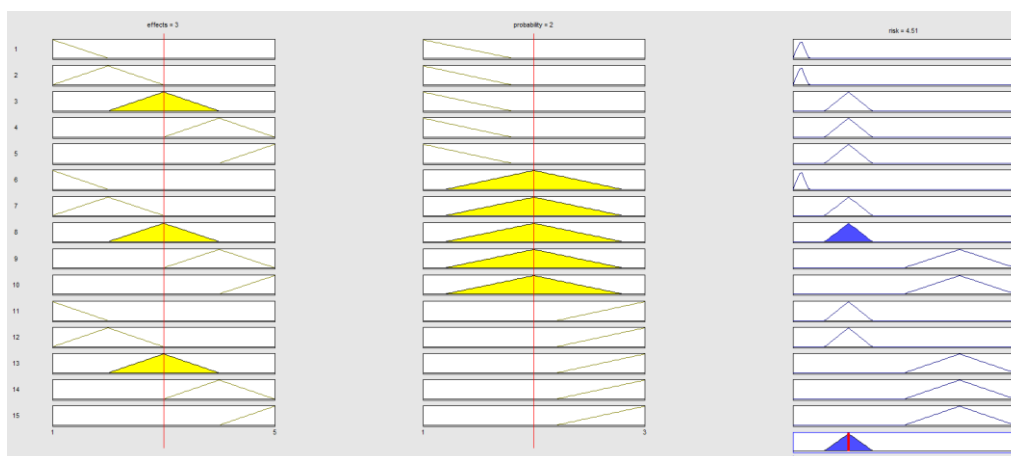
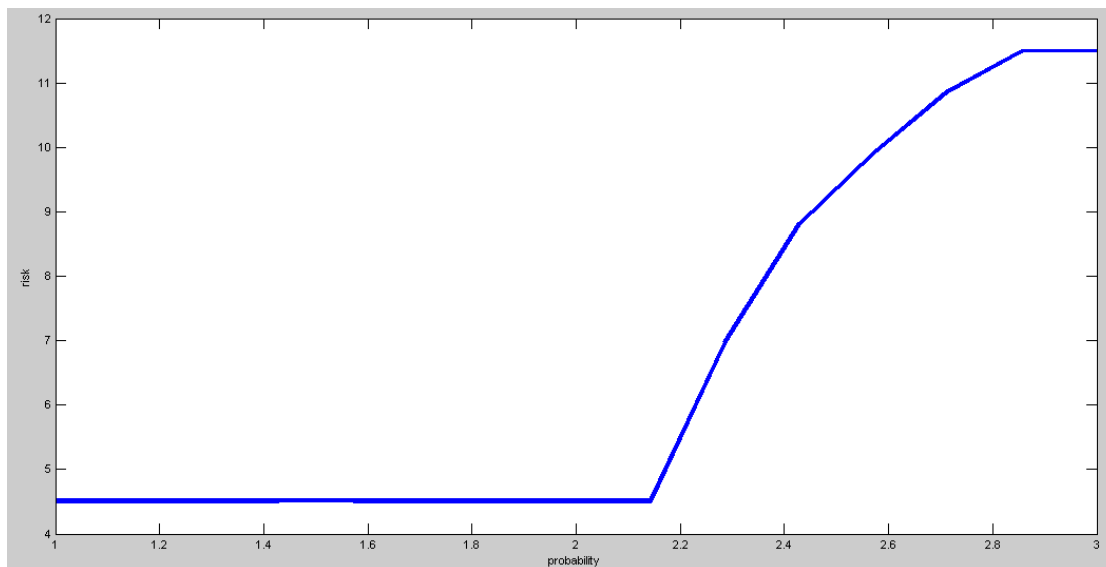


Рисунок 4 - Пример оценки риска в области охраны труда на шахтах с помощью нечеткой логики

Как видно и з примера при значениях входных переменных: потенциальная вероятность и потенциальные последствия равных, соответственно, 2 и 3 риск составит 4,51, а не 6 как в стандартной методике оценки риска. Зависимости между входными и выходным параметрами приведены на рис. 5.

а)



б)

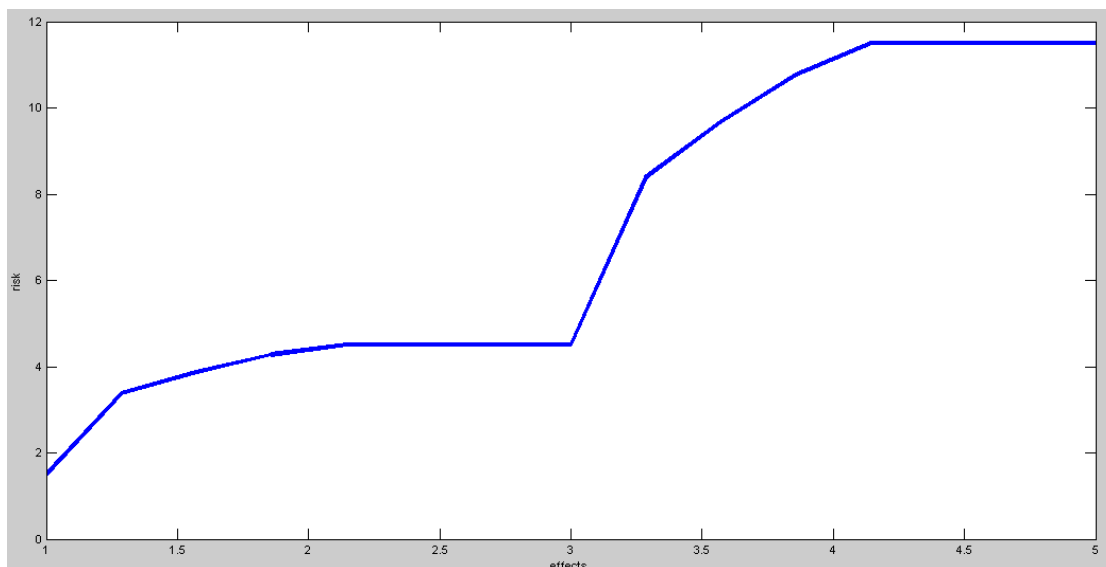


Рисунок 5 – Зависимости между а) потенциальной вероятностью (probability) и уровнем риска (risk); б) потенциальными последствиями (effects) и уровнем риска (risk)

Как видно зависимости являются нелинейными. Также следует отметить, что выходная величина уровень риска никогда не достигает крайних значений в диапазонах своего изменения [1, 15], что характерно для систем нечеткого вывода основанных на алгоритме Мамдани. В реальности сама величина уровня риска будет в среднем тяготеть к средним значениям из заданных диапазонов изменения, т.е. уровень риска неравномерно распределен и диапазонах своего изменения. Исходя из такой оценки, можно более обоснованно подходить к мероприятиям по снижению рисков и формированию реестра рисков неприемлемого уровня.



**Выводы.**

1. В настоящее время на предприятиях бизнес-блока Уголь ООО «ДТЭК ЭНЕРГО» используется процедура идентификации опасностей и оценки рисков которая включает: идентификацию опасностей и рисков, оценку риска и определение уровня управления риском, разработку мер контроля и минимизации, реализацию мероприятий, мониторинг и пересмотр.

2. По каждой производственной операции: определяются существующие источники опасности или возможные опасные ситуации, которые классифицируются в соответствии с типовым перечнем видов опасности; определяются потенциальные последствия его воздействия на людей, производственный процесс и/или объекты собственности; определяются применяемые в настоящее время способы предупреждения опасности; определяются (в баллах) последствия и вероятность возможного происшествия на производстве; определяется величина (степень) риска. По результатам оценки рисков, по каждой операции составляются карты оценки рисков. Для каждого источника опасности по матрице определяется уровень риска.

3. Оценка риска проводится на основании заключения экспертной группы. В тоже время зачастую исходные условия и предпосылки являются не четко определенными. Также нельзя однозначно говорить о четкой оценке риска в соответствии с потенциальными вероятностью и последствиями, определенными экспертами. В существующей процедуре уровень риска принимает строго определённые дискретные значения. В тоже время риск является величиной непрерывной, принимающей все возможные значения в заданном диапазоне. Зачастую требуется однозначная четкая оценка риска исходя из нечетких условий и предпосылок.

4. Предложена оценка риска с помощью методов нечеткой логики, базирующаяся на понятии нечетких множеств. В качестве входных переменных выступают потенциальная вероятность и потенциальные последствия, в качестве выходной – уровень риска, для которых выбраны треугольные функции принадлежности. В качестве алгоритма нечеткого вывода выбран алгоритм Мамдани – наиболее распространённый способ логического вывода в нечетких системах. Зависимости между входными и выходной переменными являются нелинейными. Также следует отметить, что выходная величина - уровень риска никогда не достигает крайних значений в диапазонах своего изменения. В реальности сама величина уровня риска будет в среднем тяготеть к средним значениям из заданных диапазонов изменения, т.е. уровень риска неравномерно распределен и диапазонах своего изменения.

5. Предложенная оценка риска в области охраны труда на шахтах с помощью методов нечеткой логики позволяет количественно оценить уровень риска во всем диапазоне изменения, а также учитывает нелинейный характер зависимостей уровня риска от потенциальной вероятности и потенциальных последствий. Исходя из такой оценки, можно более обоснованно подходить к мероприятиям по снижения рисков и формированию реестра рисков неприемлемого уровня.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. Узагальнена аналітична інформація на підставі річних звітів підприємств Міненерговугілля про стан охорони праці за 2018 рік. Вугільно-промисловий комплекс [Ел. ресурс]. – Режим доступу: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art\\_id=245349333&cat\\_id=245293173](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245349333&cat_id=245293173).
2. ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT) Системи управління якістю.
3. ДСТУ OHSAS 18001:2010 Системи управління гігієною та безпекою праці. Вимоги.
4. ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use.
5. Бунько Т.В., Шевченко В.Г., Яценко І.А., Кокоулін І.Е. Совершенствование системы управления производством и охраной труда // Геотехнічна механіка. Дніпропетровськ. 2016. Вип. 127. С. 3-17.
6. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Москва: Мир. 1976. 165 с.
7. Mamdani E.H. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant // Proceeding of the IEEE, Control and Science. 1974. Vol. 121. № 12. P. 1585-1588.
8. Шевченко В.Г. Моделирование подсистем управления процессом добычи угля в условиях нечеткой информации / В.Г. Шевченко // Геотехнічна механіка. Дніпропетровськ. 2009. Вип. 82. С. 130-144.
9. Шевченко В.Г. Расчет параметров нечеткого регулирования звена горнорабочих в комбайновой и струговой лавах // Матеріали міжнародної конференції "Форум гірників – 2009". Дніпропетровськ: НГУ. 2009. С. 89-94.
10. Шевченко В.Г., Слащев А.И., Яланский Алекс.А. Применение методов нечеткой логики в задачах оценки степени опасности геотехнических систем // Научно-техническое обеспечение горного производства: Сборник научных трудов ИГД им. Д.А. Кунаева. Алматы. 2016. Т. 88. С. 186-194.

## REFERENCES

1. Uzahalnena analitychna informatsiia na pidstavi richnykh zvitiv pidpriemstv Minenerhovuhillia pro stan okhorony pratsi za 2018 rik. Vuhilno-promyslovyi kompleks [El. resurs]. – Rezhym dostupu: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art\\_id=245349333&cat\\_id=245293173](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245349333&cat_id=245293173).
2. DSTU ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT) Systemy upravlinnia yakistiu.
3. DSTU OHSAS 18001:2010 Systemy upravlinnia hiiienoiu ta bezpekoiu pratsi. Vymohy.
4. ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use.
5. Bunko T.V., Shevchenko V.H., Yashchenko Y.A., Kokoulyin Y.E. (2016) Sovershenstvovanye systemi upravleniya proyzvodstvom i okhranoi truda. Geo-technical mechanics. Dnipropetrovs'k. Vol. 127. Pp. 3-17.
6. Zade L.A. (1976) Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primenenie k prinyatiyu priblizhennykh resheniy. Moskva: Mir. 165 s.
7. Mamdani E.H. (1974) Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant // Proceeding of the IEEE, Control and Science. Vol. 121. № 12. P. 1585-1588.  
<https://doi.org/10.1049/ieee.1974.0328>
8. Shevchenko V.G. (2009) Modelirovanie podsistem upravleniya protsessom dobychi uglja v usloviyah nechetkoy informatsii / V.G. Shevchenko // Geotekhnichna mehanika. Dnipropetrovsk. Vol. 82. Pp. 130-144.
9. Shevchenko V.G. (2009) Raschet parametrov nechetkogo regulirovaniya zvena gornorabochih v kombaynovoy i strugovoy lavah // Materiali mlznarodnoyi konferentsiyi "Forum glmiklv – 2009". Dnipropetrovsk: NGU. Pp. 89-94.
10. Shevchenko V.G., Slaschyov A.I. and Yalanskiy Aleks.A. (2016) Primenenie metodov nechetkoy logiki v zadachah otsenki stepeni opasnosti geotekhnicheskikh sistem // Nauchno-tehnicheskoe obespechenie gornogo proizvodstva: Sbornik nauchnykh trudov IGD im. D.A. Kunaeva. Almatyi. Vol. 88. Pp. 186-194.

## Об авторах

**Шевченко Владимир Георгиевич**, доктор технических наук, профессор, ученый секретарь, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [V.Shevchenko@nas.gov.ua](mailto:V.Shevchenko@nas.gov.ua).

**Носаль Дмитрий Александрович**, менеджер департамента охраны труда и промышленной безопасности дирекции по добыче угля ООО «ДТЭК ЭНЕРГО», Павлоград, Украина, [NosalDA2@dtek.com](mailto:NosalDA2@dtek.com)

## About the authors

**Shevchenko Volodymyr Heorhiiovych**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Scientific Secretary of the Institute, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov NAS of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, [V.Shevchenko@nas.gov.ua](mailto:V.Shevchenko@nas.gov.ua)

**Nosal Dmytro Oleksandrovych**, Master of Science, Manager of the Department of Labor Protection and Industrial Safety of the Coal Mining Directorate, DTEK ENERGO LLC, Pavlograd, Ukraine, [NosalDA2@dtek.com](mailto:NosalDA2@dtek.com)

**Анотація.** В даний час на підприємствах бізнес-блоку Вугілля ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО» використовується процедура ідентифікації небезпек та оцінки ризиків яка включає: ідентифікацію небезпек і ризиків, оцінку ризику і визначення рівня управління ризиком, розробку заходів контролю та мінімізації, реалізацію заходів, моніторинг та перегляд. По кожній виробничій операції визначаються: існуючі джерела небезпеки або можливі небезпечні

ситуації; потенційні наслідки їх впливу на людей, виробничий процес і / або об'єкти власності; застосовувані в даний час способи попередження небезпеки; визначаються в балах наслідки і ймовірність можливої події на виробництві; величина (ступінь) ризику. За результатами оцінки ризиків, за кожною операцією складаються карти оцінки ризиків. Для кожного джерела небезпеки по матриці визначається рівень ризику. Оцінка ризику проводиться на підставі висновку експертної групи. У той же час найчастіше вихідні умови і передумови не є чітко визначеними, також не можна однозначно говорити про чітку оцінку ризику відповідно до потенційних ймовірностей і наслідків, визначеними експертами. В існуючій процедурі рівень ризику приймає строго певні дискретні значення. У той же час ризик є величиною безперервною, що приймає всі можливі значення в заданому діапазоні. Часто потрібна однозначна чітка оцінка ризику виходячи з нечітких умов і передумов. Запропоновано оцінку ризику за допомогою методів нечіткої логіки, що базується на понятті нечітких множин. В якості вхідних перемінних виступають потенційна ймовірність і потенційні наслідки, як вихідна - рівень ризику, для яких обрані трикутні функції приналежності. В якості алгоритму нечіткого виведення обраний алгоритм Мамдані - найбільш поширений спосіб логічного висновку в нечітких системах. Залежності між вхідними і вихідними змінними є нелінійними, а вихідна величина рівень ризику ніколи не досягає крайніх значень в діапазонах своєї зміни. Величина рівня ризику буде в середньому тяжіти до середніх значень із заданих діапазонів зміни, тобто рівень ризику нерівномірно розподілений в діапазонах своєї зміни. Запропонована оцінка ризику за допомогою методів нечіткої логіки дозволяє кількісно оцінити рівень ризику, як безперервну величину, а також враховує нелінійний характер залежностей рівня ризику від потенційної ймовірності і потенційних наслідків. Виходячи з такої оцінки, можна більш обґрунтовано підходити до заходів по зниженню ризиків і формування реєстру ризиків неприйняттого рівня.

**Ключові слова:** охорона праці, оцінка ризиків, потенційна ймовірність і наслідки, рівень ризику, нечіткі умови і передумови, функції приналежності, алгоритм нечіткого виводу.

**Annotation.** Currently, enterprises of the DTEK ENERGO LLC business-unit Coal identify dangers and assess risk by the procedure, which includes the following: hazard and risk identification, risk assessment and determining of the risk management level, development of control and minimization measures, implementation of the measures, monitoring and review. For each production operation, the following are determined: existing sources of danger or possible dangerous situations; potential consequences of their influence on people, production process and/or property; currently used methods of danger prevention; consequences and probability of a possible accident at work, determined in points; magnitude (degree) of risk. Based on the results of the risk assessment, risk assessment cards are compiled for each operation. For each source of danger, the matrix determines the level of risk. Risk is assessed on the basis of the conclusion of the expert group. At the same time, the initial conditions and prerequisites are often not clearly defined, and it is also impossible to speak clearly about a clear risk assessment in accordance with the potential probability and consequences identified by experts. In the existing procedure, level of risk takes strictly defined discrete values. At the same time, risk is a continuous value, taking all possible values in a given range. Often, an unambiguous, clear risk assessment is required based on fuzzy conditions and assumptions. A risk assessment using fuzzy logic methods is proposed, which is based on the concept of fuzzy sets. The potential probability and potential effects act as input variables, and the risk level is used as the output value, for which triangular membership functions are chosen. As the fuzzy inference algorithm, the Mamdani algorithm is chosen - the most common method of logical inference in fuzzy systems. The dependencies between the input and output variables are non-linear, and the output value of the risk level never reaches extreme values in the ranges of its change. On average, value of the risk level will tend to average within the specified ranges of change, i.e. level of risk is unevenly distributed in the ranges of its change. The proposed risk assessment by fuzzy logic methods allows to quantify the risk level as a continuous value, and also takes into account the nonlinear nature of the dependences of the risk level on potential probability and potential effects. Based on this assessment, one can elaborate more accurate measures for reducing risks and create a register of unacceptable risk levels.

**Keywords:** labor protection, risk assessment, potential probability and effects, risk level, fuzzy conditions and prerequisites, membership functions, fuzzy inference algorithm.

*Стаття надійшла до редакції 15.01. 2020*

*Рекомендовано до друку д-ром техн. наук. В.І. Дирдою*