

УДК [622.8.012.2:519.23].004.6

**Булат А.Ф.**, академик НАН Украины, д-р техн. наук, профессор,  
**Бунько Т.В.**, д-р техн. наук, ст. научн. сотр.,  
**Кокоулин И.Е.**, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.  
 (ИГТМ НАН Украины)  
**Ященко И.А.**, канд. техн. наук  
 (Минэнергоуголь Украины)

### **КРИТЕРИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТРИЦЫ РИСКОВ ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ И ОХРАНОЙ ТРУДА НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ\***

**Булат А.Ф.**, академік НАН України, д-р техн. наук, професор,  
**Бунько Т.В.**, д-р техн. наук, ст. наук. співр.,  
**Кокоулін І.Є.**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.  
 (ІГТМ НАН України)  
**Ященко І.О.**, канд. техн. наук  
 (Міненерговугілля України)

### **КРИТЕРІЇ ВИКОРИСТАННЯ МАТРИЦІ РИЗИКІВ ПІД ЧАС ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ І ОХОРОНОЮ ПРАЦІ НА ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ**

**Bulat A.F.**, Acad. NASU, D.Sc. (Tech.), Professor,  
**Bunko T.V.**, D.Sc. (Tech), Senior Researcher,  
**Kokoulin I.Ye.**, Ph.D. (Tech), Senior Researcher  
 (IGTM NAS of Ukraine)  
**Yashchenko I.A.**, Ph.D (Tech)  
 (Ministry of Power Engineering and Coal of Ukraine)

### **CRITERIONS OF USE MATRIX OF RISKS AT PERFECTION OF CONTROL SYSTEM BY PRODUCTION AND LABOUR PROTECTION ON COAL MINES**

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы использования матрицы рисков для оценки и совершенствования системы управления производством и охраной труда на угольной шахте и применимости для этой цели используемых в теории игр критерия оптимизма (максимакса), максиминного критерия Вальда, критерия наименьшего вреда (минимаксного риска) Сэвиджа, критерия обобщённого максимина (пессимизма-оптимизма) Гурвица и критерия пессимизма (минимина). Показано, что для решения задач оценки охраны труда (в частности, для оценки эффективности системы противоаварийной защиты) применимы первые четыре критерия, но не в отдельной постановке, а используя их в комплексе. В этом случае матрица риска не просто определит наилучшую стратегию управления ликвидацией аварийной ситуации, но и даст возможность произвести оценку факторов, которые, по мнению пользователя, дополнительно влияют на неё, и позволит ему проявить в ходе решения задач инициативу, невозможную при использовании только формализованных процедур.

**Ключевые слова:** управление охраной труда, матрица последствий, матрица рисков, критерии оптимизации, человеческий фактор.

\* © Булат А.Ф., Бунько Т.В., Кокоулин И.Е., Ященко И.А., 2017

Функционирование современного горного производства существенно зависит от правильности и своевременности принятия решений по управлению как собственно технологическим процессом, так и системой охраны труда. Определение оптимальных условий работы угольной шахты всё более требует чёткой оценки возникающих опасностей, учёта статистики происшедших ранее аварийных ситуаций и обоснованного прогноза возможности их возникновения, протекания и ликвидации в будущем. Для этих целей всё более находит применение теория оценки производственных рисков [1, 2].

В работе [3] охарактеризованы основные принципы оценки эффективности системы управления производством и охраной труда (СУПОТ) и, в частности, её подсистемы противоаварийной защиты (СПАЗ) с использованием матрицы рисков.

Если определить риск возникновения и протекания аварийной ситуации как сочетание вероятности возникновения (или частоты) нанесения ущерба и тяжести этого ущерба, его величина является математическим ожиданием ущерба здоровью и жизни человека и нанесённого экономического ущерба.

Решение задачи управления рисками (для примера рассмотрим риск возникновения и протекания экзогенного пожара) предполагает [3] следующую последовательность действий:

а) постановка задачи управления риском в рамках СПАЗ выглядит следующим образом: пожар может произойти с какой-то вероятностью (на каком-то временном интервале), и нужно определить время, место его возникновения и необходимые меры по ликвидации;

б) риск возникновения и протекания пожара оценивается в качественном плане, именно: много или мало

- 1) горючего материала в пожарном очаге;
- 2) горючих материалов по ходу распространения пожара;
- 3) людей в аварийных и угрожаемых участках.

Кроме того, качественно оценивается возможность принятия эффективных мер по ликвидации пожара без привлечения дополнительных сил и средств.

Если есть возможность – те же показатели оцениваются количественно;

в) выбираются методы воздействия на риск, т.е. необходимые меры по тушению пожара и ликвидации его последствий (ликвидация силами шахты, привлечение дополнительного контингента и материальных ресурсов, необходимость, требуемый объём и время аварийной эвакуации находящихся в шахте людей и т.д.). Эти методы могут быть прямыми и косвенными, и определяются в зависимости от результатов п. б);

г) производится воздействие на риск возникновения и протекания аварийной ситуации. Если загорание носит локальный характер – оно ликвидируется силами шахтного персонала, нет – вводится в действие план ликвидации аварий (ПЛА) [4];

д) в случае, если на этапах в) и г) цель управления рисками достигнута – анализируется ход решения поставленных задач и принимаются меры по недопущению возникновения аналогичных ситуаций в дальнейшем. Если нет – составляется и вводится в действие оперативный ПЛА [4, 5].

После осуществления действий п.п. а)-д) принятые меры по ликвидации риска рассматриваются заинтересованными лицами и содержание работ корректируется с целью снижения последствий риска при возникновении аналогичных аварийных ситуаций в будущем.

Качественная оценка риска несложна и может производиться методом вербальных оценок [3], в результате чего градация как вероятности, так и последствий рисков производится по  $n$  – балльной (в простейших случаях четырёхбалльной) шкале типа значение: Н – низкое, С – среднее, В – высокое, ОВ – очень высокое. Определение суммарного критерия управления рисками производится путём поэлементного логического умножения элементов матрицы «вероятность – последствия», которая и является простейшим вариантом матрицы рисков. Например, умножение вероятности риска В на его последствия С даст значение критерия риска В, ОВ на Н – В, и т.д. Аналогично можно поступить, заменяя буквенные обозначения элементов шкалы натуральными числами (степенями вероятности и тяжести риска); максимальное значение сочетания вероятности и последствий риска и даст наиболее сложный, требующий детального изучения, вариант управления риском.

Количественная оценка рисков представляет более сложную задачу. Принципиальный подход к формированию матрицы рисков аналогичен, однако полученные значения сочетаний элементов строк и столбцов матрицы не являются констатацией факта «да – нет» или «больше – меньше», а дают какую-то количественную характеристику объекта (пусть имеющую сложную размерность, но понятную пользователю).

Но, если даже матрица рисков каким-то образом составлена, и в ней присутствуют реальные характеристики исследуемого объекта или процесса – минимальное или максимальное значение критериальной оценки риска ещё не свидетельствует о правильности принимаемого решения по двум причинам:

а) некоторые риски при одновременном срабатывании значительно усиливают влияние друг друга (например, риск возникновения пожара с учётом риска аварийного отключения необходимой для его тушения воды будет значительно выше исходного риска). То есть синергетическое влияние рисков имеет место, если при одновременном срабатывании двух рисков оно больше, чем сумма влияний этих же рисков, сработавших по отдельности. Для анализа таких «усложнённых» рисков может быть применена матрица их синергетического влияния. В матрицу в заголовки столбцов и строк записываются риски, важность которых очевидна по итогам предшествующих этапов анализа. Затем риски сравниваются попарно, и если имеет место влияние рисков, то в ячейку на пересечении данной пары ставят 1, если не имеет – 0 (табл. 1). Возможен случай, когда при одновременном срабатывании риски нейтрализуют влияние друг друга (скажем, отказ калорифера, предназначенного для подогрева поступающего в шахту воздуха, произошёл в летнее время, когда необходимость такого подогрева отсутствует); тогда в соответствующую ячейку заносится -1. Итоговая сумма баллов напротив каждого риска показывает, насколько он наделён свойством усиливать остальные идентифицированные риски (и, следовательно, требует повышенного внимания к себе).

Таблица 1 – Матрица синергетического влияния рисков

	Риск А	Риск Б	Риск В	Риск Г	Итоговая оценка
Риск А	–	1	0	–1	0
Риск Б	1	–	1	1	3
Риск В	0	1	–	0	1
Риск Г	–1	1	0	–	0

В приведенном условном примере свойством синергетического влияния в наибольшей степени наделён риск Б. Если есть возможность сравнить влияние рисков в количественном выражении – вместо условных значений в табл. 1 подставляются их реальные значения.

В случае экзогенного пожара синергетическое влияние рисков может проявляться следующим образом. Пусть возможных очагов возникновения пожара два: один (риск А), связанный с загоранием электропроводки, не представляет серьёзной опасности сам по себе, и ликвидируется самостоятельно персоналом аварийного участка. Но несвоевременное обнаружение и распространение пожарного очага может привести к возникновению пожара в другом месте возможного возникновения пожара (риск Б), где сосредоточено большое количество горючих материалов. При этом может возникнуть три ситуации:

- 1) если пожар в первом участке своевременно ликвидирован – в ячейку А-Б заносится 0;
- 2) если имеет место вторая из описанных ситуаций – в эту ячейку заносится 1;
- 3) может иметь место ситуация, когда реализуется риск Б, результатом чего автоматически станет реализация риска А, который как бы «исчезнет» и не требует учёта в дальнейшем (придётся просто заменить электропроводку с отсутствием риска или другим его значением). В ячейку А-Б заносится -1.

Как видно из приведенного примера, матрица синергетического влияния рисков (даже качественная) имеет серьёзную связь и влияние с основной матрицей рисков СПАЗ, а количественное её формирование возможно только лицом-пользователем (т.е. не на основе математического расчёта, а с учётом особенностей функционирования шахты, которые невозможно формализовать);

б) оценка рисков имеет смысл только в том случае, когда существует неопределённость условий возникновения, протекания, ликвидации и последствий аварийной ситуации. Неопределённость эта может быть полной, когда информация о вероятностях тех или иных вариантов реальной ситуации отсутствует (этот вариант маловероятен, поскольку практически всегда известны диапазоны изменения рассматриваемых величин). Построение матрицы рисков ещё не даёт возможности комплексной оценки рисков СУОПТ или СПАЗ; необходимо правильно использовать полученные результаты. При этом важную роль играет человеческий фактор: пользователь, принимая решения по управлению рисками, руководствуется не только полученными математически или замерным путём данными, но и своим видением ситуации. Принятие мер по управлению рисками аварийной ситуации не всегда очевидно определяется максимальным значением критерия безопасности или эффективности производства. Лицо, принимающее

решение, способно и готово пойти на риск отклонения от вроде бы очевидного решения, если нарушение требований, например, безотказного хода производственного процесса способно привести к обеспечению более высокого уровня безопасности ведения горных работ. Такой риск оправдан, только уровень его тоже должен быть оценён по каким-то критериям, учитывающим в ходе принятия решений по управлению рисками влияние человеческого фактора. Методы такой оценки давно разработаны в теории игр с учётом того, что участвующий в игре человек, не подчиняясь строго определённым правилам, может получить лучший результат.

Рассмотрим применимость ряда критериев, взятых из теории игр, для решения задач управления рисками в СУПОТ (СПАЗ).

Пусть рассматривается вопрос о проведении некоторой операции (варианта ликвидации аварийной ситуации) в условиях неопределённости. При этом существует  $m$  возможных решений  $i = 1, 2, \dots, m$ , а реальная ситуация недоопределена, т.е. может принимать одно из  $n$  возможных состояний  $j = 1, 2, \dots, n$ . Пусть известно, что если принимается  $i$ -е решение, а ситуация примет  $j$ -ый вариант состояния, то будет получено последствие (в каком-то численном выражении)  $p_{ij}$ . Матрица  $P = \{p_{ij}\}$  будет **матрицей последствий** (возможных решений).

Пусть принимается  $i$ -е решение. Очевидно, если бы было известно, что реальное состояние среды будет  $j$ -е, то следовало бы принять решение с последствиями  $p_j = \max p_{ij}$  (риска не существует). Однако  $i$ -е решение принимается в условиях неопределённости. Значит, существует риск получения не  $p_j$ , а только  $p_{ij}$ . Величина риска – это размер погрешности за счёт отсутствия достаточно полной информации о состоянии исследуемого процесса. Поэтому существует реальная возможность недополучить планируемые последствия, и этому неблагоприятному исходу можно сопоставить риск  $r_{ij}$ , размер которого определяет разность

$$r_{ij} = p_j - p_{ij}. \quad (1)$$

Матрица  $R = \{r_{ij}\}$  и будет реальной **матрицей рисков** аварийной ситуации. Используя формулу (1) и условную матрицу последствий

$$P = \begin{pmatrix} 5 & 2 & 8 & 4 \\ 2 & 3 & 4 & 12 \\ 8 & 5 & 3 & 10 \\ 1 & 4 & 2 & 8 \end{pmatrix}$$

можно составить матрицу рисков  $R$ . Естественно, численные значения элементов матрицы, характеризующих конкретные аспекты протекания аварийной ситуации, будут в реальных условиях сильно отличаться от условных, но эти приняты с целью упрощения понимания дальнейшего материала. Очевидно,  $p_1 = \max_i p_{ij} = 8$  (максимальное значение в первом столбце матрицы  $P$ ); аналогично  $p_2 = 5, p_3 = 8, p_4 = 12$ . Следовательно, матрица рисков имеет вид

$$R = \begin{pmatrix} 3 & 3 & 0 & 8 \\ 6 & 2 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 2 \\ 7 & 1 & 6 & 4 \end{pmatrix}$$

Приступая к формированию матрицы рисков, пользователь располагает множеством стратегий решения задачи ликвидации аварийной ситуации  $S = \{s_i\}$ ,  $i = 1, \dots, m$ . Указанные стратегии считаются контролируруемыми (управляемыми) факторами. В качестве этих факторов могут быть: технические параметры СПАЗ, экономические показатели состояния угольной шахты, различные варианты решения стоящих в аварийной ситуации задач, и т.д. Наряду с управляемыми действуют и неуправляемые (неконтролируемые) факторы:  $N = \{n_j\}$ ,  $j = 1, \dots, n$ . В качестве этих факторов могут выступать условия эксплуатации технических средств СПАЗ и производственных систем шахты, действие поражающих факторов аварий и т.д. Так как факторы  $S$  и  $N$  являются дискретными, то и эффективность принимаемых решений также представляет собой множество дискретных чисел, и каждому элементу контролируемых и неконтролируемых факторов  $(S, N)$  ставится в соответствие некоторое значение эффективности  $E(S_i, N_j)$ .

Для формирования реальной матрицы рисков необходима количественная оценка величины риска по каким-то критериям, к числу которых можно отнести:

а) критерий оптимизма (максимакса), соответствующий оптимистической стратегии. При этом исходят из того, что аварийная ситуация может быть ликвидирована в кратчайшие сроки и с минимальными потерями, т.е. условия возникновения и протекания аварийной ситуации будут наиболее благоприятными. Вследствие этого оптимальной является стратегия, максимизирующая максимальные положительные последствия для каждого варианта ликвидации аварийной ситуации. Критерий предполагает максимальный положительный результат, равный наибольшему значению критерия оптимальности в матрице  $\max_i (\max_j p_{ij})$ . Критерий целесообразно применять в тех случаях, когда имеется принципиальная возможность эффективно повлиять на ликвидацию аварийной ситуации – риска практически нет. Выбор управляемых факторов осуществляется таким образом, чтобы обеспечить максимум эффекта. В этом случае критерий оптимизма записывается в виде

$$\psi_o = \max_i \max_j E(P, N) = \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} p_{ij}.$$

Рассматривая  $i$ -е решение, предполагают самую хорошую ситуацию, с последствиями  $a_i = \max_j p_{ij}$ , а затем выбирают решение с наибольшим  $a_i$ .

Выбор варианта решения по критерию максимакса для матрицы последствий, приведенной выше, производится следующим образом. Находим последовательность значений  $a_i = \max_j p_{ij}$ :  $a_1 = 8$  (максимальное значение в первой строке матрицы  $P$ ); аналогично  $a_2 = 12$ ,  $a_3 = 10$ ,  $a_4 = 8$ ; наибольшим является  $a_2 = 12$ . Следовательно, критерий максимакса рекомендует принять второе решение ( $i = 2$ ).

Применимость критерия для решения задач СПАЗ абсолютно очевидна: если есть несколько вариантов решения задачи – оптимальным является тот, которому соответствует минимальный вариант матрицы последствий  $P$ ;

б) критерий гарантированного результата (максиминный критерий Вальда) – по сути пессимистический, т.к. устанавливается гарантированный минимальный уровень негативных последствий аварийной ситуации, но предполагается определённая «подстраховка» - фактический результат может оказаться лучше.

Матрица показателей эффективности принимаемых решений по критерию Вальда представлена в табл. 2.

Для каждого контролируемого фактора (строки) находится  $\min_i E(S_i, N_j)$ , в результате чего определяется набор значений показателя эффективности  $E(S_1, N)_{\min}, E(S_2, N)_{\min}, \dots, E(S_m, N)_{\min}$ . Сравнивая полученные величины, выбирают управляемый фактор, при котором обеспечивается максимальное значение  $E(S, N)$ . Другими словами, рассматривая  $i$ -е решение, будем полагать, что на самом деле ситуация складывается самая плохая, т.е. имеющая минимальные позитивные последствия  $b_i = \min_j p_{ij}$ . Затем выбираем решение  $i_0$  с наибольшим  $b_{i_0}$ . Таким образом, критерий Вальда рекомендует принять решение  $i_0$  такое, что  $b_{i_0} = \max_i b_i = \max_i (\min_j p_{ij})$ . Он записывается в виде

$$E_B = \max_i \min_j E(S, N) = \max_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq j \leq n} p_{ij}$$

Таблица 2 – Матрица показателей эффективности принимаемых решений

$N_j \backslash S_i$	$N_1$	$N_2$	...	$N_n$	$\min_j p_{ij}$
$S_1$	$p_{11}$	$p_{12}$	...	$p_{1n}$	$E(S_1, N)_{\min}$
$S_2$	$p_{21}$	$p_{22}$	...	$p_{2n}$	$E(S_2, N)_{\min}$
...	...	...	...	...	...
$S_m$	$p_{m1}$	$p_{m2}$	...	$p_{mn}$	$E(S_m, N)_{\min}$

Данный критерий обеспечивает максимизацию минимального положительного последствия, или минимизацию максимальных потерь, которые могут быть достигнуты при реализации одной из стратегий ликвидации аварийной ситуации. Критерий консервативен, т.к. ориентирует пользователя на слишком осторожную линию поведения. Это перестраховочная позиция крайнего пессимизма, рассчитанная на худший случай.

Выбирая для матрицы последствий, приведенной выше, вариант решения по критерию Вальда, имеем  $b_1 = 2, b_2 = 2, b_3 = 3, b_4 = 1$ ; максимальным является  $b_3 = 3$ . Следовательно, критерий Вальда рекомендует принять 3-е решение ( $i = 3$ ).

Критерий может быть применён в аварийной ситуации, если заранее предполагается, что последствия её будут значительны, и необходима только их максимальная минимизация, т.е. при условии заранее известной недостаточности сил и средств для достижения оптимального результата;

в) критерий минимаксного риска Сэвиджа, или критерий наименьшего вреда, определяющий худшие возможные последствия для каждой альтернативы и выбирает альтернативу с лучшим из плохих значений. Этот критерий сильнее критерия Вальда, поскольку делается шаг к уменьшению не последствий, а риска: предполагается и анализируется возможность получения не абсолютно

негативного результата. Он аналогичен критерию Вальда, но пользователь принимает решение, руководствуясь не матрицей последствий  $P$ , а матрицей рисков  $R$ . Возможны ситуации, когда неконтролируемые факторы будут действовать более благоприятным образом по сравнению с наихудшим состоянием, на которое ориентировался пользователь. Критерий имеет вид

$$E_C = \min_i \max_j R(S, N) = \min_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} r_{ij}$$

По этому критерию лучшим является решение, при котором максимальное значение риска будет наименьшим. При рассмотрении  $i$ -го решения предполагается ситуация максимального риска  $r_i = \max_j r_{ij}$  и выбирается вариант решения  $i_0$  с наименьшим  $r_{i_0} = \min_i b_i = \min_i (\max_j r_{ij})$ . Для исходных данных в рассматриваемом примере вариант решения в соответствии с критерием Сэвиджа выбирается следующим образом. Рассматривая матрицу рисков  $R$ , находим последовательность величин  $r_i = \max_j r_{ij}$ :  $r_1 = 8$ ,  $r_2 = 6$ ,  $r_3 = 5$ ,  $r_4 = 7$ . Из этих величин выбираем наименьшую  $r_3 = 5$ . Значит, критерий Сэвиджа рекомендует принять 3-е решение ( $i = 3$ ).

Критерий может применяться в аварийных ситуациях, поскольку он предлагает минимизацию максимального риска, что в ряде случаев аналогично критерию Вальда, но оперирует не величиной, а риском потерь;

г) критерий обобщённого максимина (пессимизма - оптимизма) Гурвица, который предполагает, что результат решения задачи не всегда негативен, и устанавливает границы интервала «наихудший результат – наилучший результат» и выбирает вариант из этого интервала.

Критерий Гурвица позволяет учитывать комбинации наилучших и наихудших состояний ликвидации аварийной ситуации. Этот критерий при выборе решения рекомендует руководствоваться некоторым средним результатом, характеризующим состояние между крайним пессимизмом и крайним оптимизмом. В соответствии с этим компромиссным критерием определяется линейная комбинация минимального и максимального позитивного последствия

$$E_i = \{\lambda \min_{1 \leq j \leq n} p_{ij} + (1 - \lambda) \max_{1 \leq j \leq n} p_{ij}\},$$

где  $\lambda$  – коэффициент (показатель) оптимизма ( $0 \leq \lambda \leq 1$ ), и предпочтение отдаётся варианту решения, для которого максимальным окажется показатель  $E_i$ , т.е.

$$E_{iГ} = \max_{1 \leq i \leq m} \{\lambda \min_{1 \leq j \leq n} p_{ij} + (1 - \lambda) \max_{1 \leq j \leq n} p_{ij}\}.$$

При  $\lambda = 0$  критерий Гурвица совпадает с максимаксным критерием, т.е. ориентирует на предельный риск; при  $\lambda = 1$  он совпадает с критерием Вальда, т.е. ориентирует на осторожное поведение. Значения  $\lambda$  между 0 и 1 являются промежуточными между риском и осторожностью и выбираются из субъективных (интуитивных) соображений в зависимости от конкретной обстановки в ходе ликвидации аварийной ситуации и склонности пользователя к риску (в пределах рас-



хождения мнений экспертов, участвующих в её ликвидации). Он наиболее удобен в плане расширения множества возможных решений и привлечения к решению задачи коллектива экспертов, что как раз и имеет место в процессе ликвидации аварий с составлением оперативного ПЛА [5].

Для приведенной в примере матрицы последствий наилучший вариант решения на основе критерия Гурвица при значении коэффициента оптимизма  $\lambda = 1/2$  выбирается следующим образом. Рассматривая матрицу последствий  $P$  по строкам, для каждого  $i$  вычисляются значения  $c_i = 1/2 \min p_{ij} + 1/2 \max p_{ij}$ . Например,  $c_1 = 1/2 \cdot 2 + 1/2 \cdot 8 = 5$ ; аналогично находятся  $c_2 = 7$ ;  $c_3 = 6,5$ ;  $c_4 = 4,5$ ; наибольшим является  $c_2 = 7$ . Следовательно, критерий Гурвица при заданном  $\lambda = 1/2$  рекомендует выбрать второй вариант ( $i=2$ );

д) критерий пессимизма, который характеризуется выбором худшей альтернативы с худшим из всех худших значений риска. При использовании принципа пессимизма предполагается, что управляемые факторы могут повести себя неблагоприятным образом:

$$E_{Pi} = \min_i \min_j E(S, N) = \min_i \min_{1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n} p_{ij}.$$

Для матрицы последствий нашего примера выбор варианта решения по критерию пессимизма имеет следующий вид. При стратегии 1 минимальные позитивные последствия имеют ранг 2, стратегии 2 – 2, стратегии 3 – 3, стратегии 4 – 1. Критерий пессимизма рекомендует принять 4-е решение ( $i = 4$ ).

При оценке риска аварийной ситуации этот критерий неприменим, поскольку заранее предполагает фактическую невозможность её ликвидации, а значит – неэффективность СПАЗ и невозможность её адаптации к реальным условиям протекания аварии. Тем самым констатируется факт невозможности безопасной угледобычи, что абсолютно неприемлемо и свидетельствует о грубых нарушениях требований СУПОТ.

При сравнительном анализе критериев оценки риска в СУПОТ (СПАЗ) целесообразно останавливаться на выборе единственного критерия, т.к. в ряде случаев это может привести к неоправданным решениям, ведущим к людским и экономическим потерям. В большинстве ситуаций имеется необходимость применения нескольких критериев в совокупности, что даёт возможность совершенствования экспертной оценки аварийной ситуации, достаточно эффективно сочетающейся с методом анализа иерархий Т. Саати. Например, наряду с критерием гарантированного результата Вальда может быть использован критерий минимаксного риска Сэвиджа, позволяющий анализировать плохие значения и максимизировать полученный результат, и т.д. Выбор необходимого перечня критериев и принципов их совместного использования предоставляется коллективу экспертов - пользователей, который может это осуществить, исходя из знания шахты, перечня и возможностей возникновения в ней аварийных ситуаций и их ликвидации в прошлом. Естественно, залогом успеха в любом случае является правильное сочетание формализации задачи и применение для её решения принципов функционирования системы «пользователь – ПЭВМ», т.е. эффективный

учёт человеческого фактора, без которого невозможен выбор оптимальной стратегии ликвидации аварийной ситуации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стоецкий, В.Ф. Оценка риска при авариях техногенного характера / В.Ф. Стоецкий, В.И. Голинко, Л.В. Дранишников // Науковий вісник НГУ. – 2014. - № 3. – С. 117-124.
2. Новоселов, А.А. Некоторые задачи управления пожарным риском / А.А. Новоселов // Труды XII Международной конференции по финансово-актуарной математике и эвентологии. – Красноярск: СФУ, 2013. – С. 302-305.
3. Бунько, Т.В. Управление показателями аварийности и травматизма на угольных шахтах с использованием матрицы рисков / Т.В. Бунько, И.А. Яценко, И.Е. Кокоулин // Геотехническая механика: межвед. сб. научн. трудов / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2016. – Вып. 128. – С. 19-30.
4. Состояние техники безопасности и эффективность функционирования противоаварийной защиты угольных шахт / А.Ф. Булат, И.А. Яценко, И.Е. Кокоулин [и др.]. – Днепропетровск, 2005. – 266 с.
5. Постарев, А.П. Методические рекомендации для руководителей работ по ликвидации аварий на угольных шахтах. Для обучающихся повышению квалификации ИТР и практической деятельности при разработке, изучении и использовании плана ликвидации аварий / А.П. Постарев, А.П. Саватеев, С.М. Баранов. – М.: Изд-во Акад. горн. наук, 1996. – 143 с.

### REFERENCES

1. Stoetskiy, V.F., Golinko, V.I. and Dranishnikov, L.V. (2014), "Appreciation of risk at the failures of technogen character", *Naukovy visnyk NMU*, no. 3, pp. 117-124.
2. Novoselov, A.A. (2013), "Some tasks of management by the fire risk", *Trudy XII Mezhdunarodnoy konferentsiy po finansovo-aktuarnoy matematike i eventologii* [Labours of the XII International conference on financially-actuarial mathematics and eventology], SFU, Krasnoyarsk, RU.
3. Bunko, T.V., Yashchenko, I.A. and Kokoulin, I.Ye. (2016), "Control indexes of accident and traumatism on coal mines with the use of matrix of risks", *Geo-Technical Mechanics*, no. 128, pp. 19-30.
4. Bulat, A.F., Yashchenko, I.A., Kokoulin, I.Ye. [and others] (2005), *Sostoyaniye tekhniki bezopasnosti I effektivnost funktsionirovaniya protivoavariynoy zashchity ugolnykh shakht* [State of accident prevention and efficiency of functioning of against-accident defence of coal mines], Dnepropetrovsk, UA.
5. Postarev, A.P., Savvateev, a.p. and Baranov, S.M. (1996), *Metodicheskiye rekomendatsii dlya rukovoditeley rabot po likvidatsii avariyy na ugolnykh shakhtakh. Dlya obuchayushchikhsya povysheniyu kvalifi-katsii ITR i prakticheskoy deyatelnosti pri razrabotke, izuchenii I ispolzovanii plana likvidatsii avariyy* [Methodical recommendations for the cheafs of works on liquidation of accidents on coal mines. For traineest to the YTR iqualification and practical activity training at development, study and use of plan of liquidation of accidents], Akad Izd-vo of mine sciences, Moscow, RU.

### Об авторах

**Булат Анатолий Федорович**, академик Национальной академии наук Украины, доктор технических наук, профессор, директор института, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, office.igtm@nas.gov.ua.

**Бунько Татьяна Викторовна**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, bunko2007@mail.ru

**Кокоулин Иван Евгеньевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Днепр, Украина, bunko2007@mail.ru

**Яценко Игорь Алексеевич**, кандидат технических наук, заместитель начальника управления охраны труда, промышленной безопасности, физической и гражданской защиты Министерства энергетики и угольной промышленности Украины, Киев, Украина.

### About the authors

**Bulat Anatoliy Fedorovich**, Academician of the National Academy of Science of Ukraine, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Director of the Institute, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM NASU), Dnipro, Ukraine, office.igtm@nas.gov.ua.

**Bunko Tatyana Viktorovna**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of problems of underground mines in great depths, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnipro, Ukraine, bunko2007@mail.ru

**Kokoulin Ivan Yevgeniyevich**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Researcher, Dnipro, Ukraine, bunko2007@mail.ru

**Yashchenko Igor Alekseevich**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Deputy Chief of the Department of labour protection, industrial safety, physical and civil defence, Ministry of Power Engineering and Coal Industry of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

---

**Анотація.** Розглянуто питання використання матриці ризиків для оцінки і вдосконалення системи управління виробництвом та охороною праці на вугільній шахті і застосовності з цією метою критерію оптимізму (максимакса), максимінного критерію Вальда, критерію найменшої шкоди (мінімального ризику) Севіджа, критерію узагальненого максиміна (песимізму – оптимізму) Гурвіца і критерію песимізму (мініміна), які застосовуються у теорії ігор. Показано, що для рішення задач оцінки охорони праці (зокрема, для оцінки ефективності системи протиаварійного захисту), застосовні перші чотири критерії, але не в роздільній постановці, а використовуючи їх у комплексі. У цьому разі матриця ризиків не просто визначить найкращу стратегію управління ліквідацією аварійної ситуації, але й дозволить врахувати фактори, які, на думку користувача, додатково впливають на неї, і дозволить йому виявити у ході рішення задачі ініціативу, неможливу під час використання тільки формалізованих процедур.

**Ключові слова:** управління охороною праці, матриця наслідків, матриця ризиків, критерії оптимізації, людський фактор.

**Abstract.** The issues of the risk matrix use for estimation and improvement of production control system and labour protection in the coal mine are considered, as well as applicability for this purpose of a criterion of optimism (maxi-max), the Vald maximin criterion, the Sevidz criterion of the least harm (minimax risk), the Gurvits criterion of the generalized maximin (pessimism-optimism) and criterion of pessimism (minimin) used in the theory of games. It is shown that in terms of labour protection assessment (in particular, for evaluating efficiency of the emergency control system), the first four criteria are applicable, though not separately but in their combination. In this case, the risk matrix can choose the best control strategy for the liquidation of emergency situation and also makes possible to estimate factors, which, according to the user, can additionally impact on the situation, giving a chance to undertake an initiative, which is impossible when only the formalized procedures are used.

**Keywords:** labour protection control, consequence matrix, risk matrix, criterion of optimization, human factor

*Стаття поступила в редакцію 15.06.2017*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук С.П. Минеевым*