

# ГОРНОЕ ДЕЛО

---

МРНТИ 52.01.77

<sup>1</sup>Ж.К.Кадырбергенов

<sup>1</sup>«Таукен жоба», г. Алматы, Казахстан

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ С КОМБИНИРОВАННЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОСТИ ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКОВ И ШАХТ**

---

**Аннотация.** Исследованы актуальные задачи обеспечения безопасности работ и профилактики производственного травматизма, которые являются одной из важных проблем при подземной разработке полезных ископаемых. Рассмотрены вопросы выбора оптимальной системы разработки месторождений твердых полезных ископаемых. Указаны отрицательные моменты при проектировании рудников, имеющие место в проектных организациях и вузах, которые дают низкую объективность выбора системы разработки, основываясь только на технико-экономических показателях и сохраняющих большие сроки выполнения расчетов по выбору применяемой системы разработки. Предложена удобная и относительно простая программа, обеспечивающая возможность быстрого и правильного выбора варианта оптимальной системы разработки. Доказана объективность применения программы выбора системы разработки по комбинированным критериям оптимальности (по технико-экономическим показателям с учетом минимизации уровня травматизма).

**Ключевые слова:** проектирование рудников, подземные месторождения, подземная разработка, производственный травматизм, программирование подземных работ, полезные ископаемые.



**Түйіндеме.** Пайдалы кеніштерді жерасты өңдеу кезінде, маңызды проблемалардың бірі алдын алу болып табылатын жұмыстардың қауіпсіздігін міндеттер қамтамасыз ету және өндірістік жарақаттанушылықты өзекті зерттелген. Жер асты игеру кезінде қатты пайдалы кеніштерді өзірлеуінде оңтайлы қазу жүйесі мәселелерін таңдау. Кеніштерді жобалау кезінде және ЖОО ұйымдарында теріс тұстары, яғни – техникалық-экономикалық көрсеткіштер бойынша қазу жүйесін таңдауда объективтілігі өзірлеу төмен, сон-

дай-ақ қолданылатын жүйесін өзірлеуге арналған мерзімдер және есеп айырысу орындауға көп уақыт кететіні көрсетілген. Қазу жүйесін өзірлеуде қамтамасыз тез және дұрыс нұсқаларды таңдау ететін мүмкіндігі, ыңғайлы және салыстырмалы түрде қарапайым бағдарламаны ұсынады. Оңтайлық критерийлер аралас бойнша (техникалық-экономикалық көрсеткіштерді ескере отырып, жарақаттану деңгейі төмен) қазу жүйесін таңдау өзірлеуде объективтілігі бағдарламасын қолдану дәлелденген.

**Түйінді сөздер:** кеніштерді жобалау, қазу жүйесі, жерасты игеру, өндірістік жарақаттану, жарақат жиілігі және ауырлығы, бағдарламалау, пайдалы қазбалар.



**Abstract.** The actual tasks of providing of safety of works and prophylaxis of productive traumatism are investigational, that are one of important problems at underground development of minerals. The questions of choice of the optimal system of working mine of hard minerals are considered at underground development. Negative moments are indicated at planning of mineries in project organizations and Institutions of higher learning, as is subzero objectivity of choice of the system of development only on technique-economic indexes, and also large terms on implementation of calculations on the choice of the applied system of development. The comfortable and relatively simple program offers, providing possibility of rapid and correct choice of variant of the optimal system of development. Objectivity of application of the program of choice of the system of development is well-proven on the combined criteria of optimality (on technique-economic indexes taking into account minimization of level of traumatism).

**Key words:** planning of mineries, system of development, underground development, productive traumatism, frequency and weight of traumatism, programming underground works, minerals.

**Введение.** Разработка рудных месторождений Казахстана в последние годы характеризуется интенсификацией горного производства, что, в свою очередь, приводит к увеличению площадей обнажения, понижению горизонта выемки, проявлению высокого горного давления и обуславливает формирование опасных горнотехнических ситуаций, которые становятся причинами производственного травматизма. Обеспечение безопасности работ и профилактика производственного травматизма являются важными проблемами при подземной разработке полезных ископаемых. Однако на стадии проектирования при обосновании выбора наилучших технических решений, начиная с систем

разработки и заканчивая основными параметрами шахт, не учитываются травмоопасные ситуации и не рассчитывается возможный уровень травматизма [1-3]. При проектировании и планировании горных работ приходится выбирать решения из большого количества возможных вариантов систем разработки залежей. Инженеры-проектировщики и производственники принимают эвристические решения, как правило, по нескольким критериям [4-6].

Многообразная литература, посвященная математическим методам оптимизации, не дает решений по многим критериям [4, 6, 7], поэтому авторы настоящей статьи предлагают один из возможных способов принятия решений по векторному критерию.

Оценка систем разработки производится в основном по таким технико-экономическим показателям, как удельный объем горно-подготовительных и нарезных работ; производительность труда забойного рабочего при проходке горизонтальных и вертикальных выработок; производительность труда очистного рабочего; потери и разубоживание руды. При этом отсутствуют какие-либо численные показатели, оценивающие степень безопасности той или иной системы разработки. В учебной и научной литературе по безопасности систем разработки рассматривается общее суждение о том, что система разработки безопасная или опасная в зависимости от того, какая применяется технология. Подобная общая оценка степени безопасности системы разработки не отвечает современным требованиям проектирования и подземной эксплуатации рудных месторождений.

Практика проектирования рудников, шахт ориентируется на опыт работы действующих предприятий в аналогичных условиях, а выбор систем разработки производится путем рассмотрения двух-трех предварительно выбранных вариантов на основе сравнения их по технико-экономическим показателям (критериям). Наряду с основными критериями следовало бы учитывать и вспомогательные критерии, к которым можно отнести устойчивость кровли, удароопасность горных пород, травмоопасность [8-11]. Однако при проектировании вспомогательными критериями пренебрегают.

**Методы исследований.** Сравнение 3-х систем разработки представлено на примере Суздальского месторождения:

1) система подэтажного обрушения с послойным торцовым выпуском руды;

2) этажно-камерная выемка с отбойкой руды из подэтажных штреков с закладкой выработанного пространства, нисходящий порядок отработки блока;

3) слоевая выемка руды с закладкой выработанного пространства, восходящий порядок отработки блока.

Сущность метода выбора оптимальной системы разработки заключается в том, что производится сравнение систем разработки по технико-экономическим показателям с помощью метода оптимизации по норме вектора отклонений, предложенного акад. О. А. Байконуровым [5], с изменениями, предложенными проф. С.В.Цой [8]. Этот метод используется, когда оценка степени важности критериев не представляется возможной, т. е. все они считаются равноценными.

Составляется матрица критериев оптимальности по табл. 1, из которой выделяются наилучшие количественные показатели.

Определяются величины отклонений оптимальных значений от расчетных по формуле (1), которые сводятся в табл. 2:

$$\Delta J_{ip}^{ip} = \frac{J_{ip}^{ip} - J_{ip}^{jo}}{J_{ip \max}^{ip} - J_{ip \min}^{ip}}, \quad (1)$$

Для каждого столбца матрицы, соответствующего определенной системе разработки, вычисляется норма вектора отклонений для каждого рассматриваемого варианта по формуле:

$$R_j = \sqrt{J_{ip1}^{ip2} + J_{ip2}^{ip2} + \dots + J_{ipn}^{ip2}}, \quad (2)$$

По показателю наименьшей нормы вектора выбирается окончательная целесообразная система разработки.

Таблица 1 - Исходные данные для выбора варианта системы разработки

№п/п	Наименование критерия оптимальности	Единица измерения	Критерии оптимальности			Наилучшие показатели критериев оптимальности	Максимальные показатели критериев оптимальности	Минимальные показатели критериев оптимальности
			система подэтажного обрушения	этажно-камерная система с закладкой	система слоевой выемки руды с закладкой			
			1 вар-нт	2 вар-нт	3... n вар-нт			
1	Производительность забойного рабочего	т/см	180	150	140	180	180	140
2	Себестоимость добычи 1 т руды	т/т	1300	2100	2100	1300	2100	1300
3	Коэффициент извлечения	дол ед	0,88	0,96	0,97	0,97	0,97	0,88
4	Коэффициент разубоживания	дол ед	0,18	0,07	0,06	0,06	0,18	0,06
5	Ценность руды	т/т	25400	28200	26500	28200	28200	25400
6	Экономический ущерб от разубоживания	т/т	350	200	250	200	350	200
7	Экономический ущерб от потерь	т/т	950	650	800	650	950	650
8	Суммарные технологические затраты	тыс.тг	6100	7500	7200	6100	7500	6100
9	Рентабельность использования руды, %	проц	120	100	90	120	120	90
10	Коэффициент эффективности системы разработки	дол ед	0,74	0,65	0,63	0,74	0,74	0,63

Таблица 2 - Отклонения оптимальных значений

1	Производительность забойного рабочего	т/см	0,00	-0,75	-1,00
2	Себестоимость добычи 1 т руды	т/т	0,00	1,00	1,00
3	Коэффициент извлечения	дол ед	-1,00	-0,11	0,00
4	Коэффициент разубоживания	дол ед	1,00	0,08	0,00
5	Ценность руды	т/т	-1,00	0,00	-0,61
6	Экономический ущерб от разубоживания	т/т	1,00	0,00	0,33
7	Экономический ущерб от потерь	т/т	1,00	0,00	0,50
8	Суммарные технологические затраты	тыс.тг	0,00	1,00	0,79
9	Рентабельность использования руды, %	проц	0,00	-0,67	-1,00
10	Коэффициент эффективности системы разработки	дол ед	0,00	-0,82	-1,00
11	Сумма квадратов критериев оптимальности		5,00	3,70	5,35
12	Норма вектора отклонений		2,24	1,92	2,31
13	Значение оптимального варианта системы разработки			1,92	

Примечание:

<span style="background-color: yellow; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>	- Ячейки заполняемые вручную	1,92	<	2,24	16,3 %
<span style="background-color: lightgreen; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>	- Ячейки с наилучшими показателями	1,92	<	2,31	20,3 %
<span style="background-color: pink; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px;"></span>	- Ячейки с наихудшими показателями				

Таблица 3 - Исходные данные для выбора варианта системы разработки

№п/п	Наименование критерия оптимальности	Единица измерения	Критерии оптимальности			Наилучшие показатели критериев оптимальности	Максимальные показатели критериев оптимальности	Минимальные показатели критериев оптимальности
			система подэтажного обрушения	этажно-камерная система с закладкой	система слоевой выемки руды с закладкой			
			1 вар-нт	2 вар-нт	3... п вар-нт			
1	Коэффициент частоты несчастных случаев ( $K_n$ )		60	50	34	34	60	34
2	Коэффициент тяжести травматизма ( $K_T$ )		40	35	23	23	40	23
3	Производительность забойного рабочего	т/см	180	150	140	180	180	140
4	Себестоимость добычи 1 т руды	тг/т	1300	2100	2100	1300	2100	1300
5	Коэффициент извлечения	дол ед	0,88	0,96	0,97	0,97	0,97	0,88
6	Коэффициент разубоживания	дол ед	0,18	0,07	0,06	0,06	0,18	0,06
7	Ценность руды	тг/т	25400	28200	26500	28200	28200	25400
8	Экономический ущерб от разубоживания	тг/т	350	200	250	200	350	200
9	Экономический ущерб от потерь	тг/т	950	650	800	650	950	650
10	Суммарные технологические затраты	тыс.тг	6100	7500	7200	6100	7500	6100
11	Рентабельность использования руды, %	проц	120	100	90	120	120	90
12	Коэффициент эффективности системы разработки	дол ед	0,74	0,65	0,63	0,74	0,74	0,63

Таблица 4 - Отклонения оптимальных значений

1	Коэффициент частоты несчастных случаев ( $K_n$ )		1,00	0,62	0,00
2	Коэффициент тяжести травматизма ( $K_T$ )		1,00	0,71	0,00
3	Производительность забойного рабочего	т/см	0,00	-0,75	-1,00
4	Себестоимость добычи 1 т руды	тг/т	0,00	1,00	1,00
5	Коэффициент извлечения	дол ед	-1,00	-0,11	0,00
6	Коэффициент разубоживания	дол ед	1,00	0,08	0,00
7	Ценность руды	тг/т	-1,00	0,00	-0,61
8	Экономический ущерб от разубоживания	тг/т	1,00	0,00	0,33
9	Экономический ущерб от потерь	тг/т	1,00	0,00	0,50
10	Суммарные технологические затраты	тыс.тг	0,00	1,00	0,79
11	Рентабельность использования руды, %	проц	0,00	-0,67	-1,00
12	Коэффициент эффективности системы разработки	дол ед	0,00	-0,82	-1,00
13	Сумма квадратов критериев оптимальности		7,00	4,57	5,35
14	Норма вектора отклонений		2,65	2,14	2,31
15	Значение оптимального варианта системы разработки			2,14	

Примечание:

Кэфф	- критерии оптимальности по безопасности жизнедеятельности	2,14	<	2,65	23,7 %
Прозв	- критерии оптимальности по технико-экономическим показателям	2,14	<	2,31	8,1 %

В данном случае наилучшей нормой вектора является  $R_2=1,92$ , которой соответствует система этажно-камерной выемки, с отбойкой руды из подэтажных штреков, с закладкой выработанного пространства, с нисходящим порядком отработки блока.

При этом разница с остальными системами разработки составляет 16 и 20 %, что не позволяет считать их равнозначными по технико-экономическим показателям.

Все расчеты по заполнению таблиц выполняются программой «Excel», составленной автором, которые занимают от 30 до 60 мин. На оценку уровня безопасности систем разработки воздействует множество опасных факторов: обрушение пород с кровли и бортов выработок; нахождение рабочих в очистном пространстве; применение ручного оборудования; отравление работников газами – продуктами взрыва ВВ; травмоопасность при выполнении процессов бурения, крепления, зарядания, взрывания, выпуска, доставки руды и т. д.

Для иллюстрации применения метода в качестве критерия, оценивающего уровень безопасности систем разработки, ограничимся использованием двух коэффициентов (табл. 3): частоты травматизма  $K_ч$  и тяжести травматизма  $K_т$ . В матрицу критериев оптимальности по технико-экономическим показателям добавим критерии травмоопасности и произведем перерасчет нормы вектора с учетом минимизации уровня травматизма (табл. 4). Стрелками показаны влияющие и зависимые ячейки таблиц, по которым программой производятся расчеты по вышеприведенным формулам (1), (2). Кроме того, настоящей программой выбирается оптимальное значение нормы-вектора отклонений, соответствующее оптимальной системе разработки.

Таким образом, для заданного примера с учетом минимизации уровня травматизма наиболее оптимальной также оказалась система этажно-камерной выемки, с отбойкой руды из подэтажных штреков, с закладкой выработанного пространства, с нисходящим порядком отработки блока получившая норму вектора отклонений  $R_2=2,14$ . Однако разница с системой разработки 3-го варианта составляет лишь 8 %, что позволяет считать их

равнозначными, поскольку разница менее 10 %. Это объясняется тем, что в обоих вариантах применяется закладка выработанного пространства, которая снижает риски травматизма от обрушения кровли (висячего бока) до минимума.

В данном случае следовало бы отдать предпочтение более безопасной системе разработки – слоевой выемкой руды с закладкой выработанного пространства, восходящий порядок отработки блока, так как при этой системе высота открытого очистного пространства не превышает 4 м, тогда как при 2-м варианте – системе этажно-камерной выемки с отбойкой руды из подэтажных штреков с закладкой выработанного пространства, нисходящий порядок отработки блока, она может достигать 40-50 м.

В качестве примера: в 1970-е гг. на Орловском руднике в 90 % добычных блоков применялась камерная система разработки с закладкой выработанного пространства как наиболее экономичная по сравнению с системой со слоевой выемкой. Практика применения этой системы разработки привела к частым обрушениям кровли и бортов камеры, снижению безопасности и повышению уровня травматизма – все это послужило предпосылками для предпочтительного применения слоевой системы разработки с закладкой выработанного пространства и поменять соотношение применения вышеперечисленных систем строго наоборот.

**Выводы.** Применение программы выбора системы разработки по комбинированным критериям оптимальности (по технико-экономическим показателям с учетом минимизации уровня травматизма) при проектировании отработки месторождений подземным способом, а также для обучающихся в вузах позволит:

1) объективнее выбирать вариант системы разработки, снижая при этом риски возможного травматизма на горнодобывающих предприятиях;

2) получить возможность интерполирования критериями оптимальности в соответствии с требованиями безопасности и на основе этого учитывать экономический ущерб от травматизма;

3) значительно сократить время на выполнение расчетов по выбору оптимальной системы разработки.

### Список литературы

1 *Хакимжанов Т.Е., Кадырбергенов Ж.К.* Выбор систем разработки полезных ископаемых по минимизации уровня травматизма // Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях: Тр. 3-й Междунар. науч.-техн. конф. – Алматы: АИЭС, 2002. – С. 438-440.

2 *Порцевский А.К.* Выбор рациональной технологии добычи руд. Геомеханическая оценка состояния недр. Использование подземного пространства // Геоэкология. – М.: Изд-во МГГУ, 2003. – 767 с.

3 *Михайлов Ю.В., Красников Ю.Д.* Ценные руды. Технология и механизация подземной разработки месторождений. – М.: Academia, 2008. – 256 с.

4 *Городниченко В.И., Дмитриев А.П.* Основы горного дела. – М., 2008. – 464 с.

5 *Байконуров О.А.* Классификация и выбор методов подземной разработки месторождений. – Алма-Ата: Наука, 1969. – 606 с.

6 *Тонких А.И., Макишин В.Н., Ивановский И.Г.* Технично-экономические расчеты при подземной разработке рудных месторождений: учеб. пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 137 с.

7 *Costa G.* The impact of shift and night work on health. Applied Ergonomics. – 1996. – № 27. – P. 9-16.

8 *Цой С.В.* Основы проектирования рудников. – Алматы. 2001. – 370 с.

9 *Komaschenko V.I.* The use of modern initiation ways and hole charges design for the rocks grinding quality increase // Published on 26 September. – № 2 (24). – 2015. – 321 p.

10 *Eremenko A.A., Eremenko V.A., Shchetinin E.V., Shultaev S.K.* Experience of the practice of large-scale blast, using the parallel-

contiguous explosive charges with increased diameter at sheregesh min. // Gornyi Zhurnal (Mining Journal). – 2013. – № 3. – P. 96.

11 *Kabetenov T., Yusupov Kh.A., Rustemov S.T.* Rational parameters of blasting, considering action time of explosion-generated pulse // Journal of Mining Science. – 2015. – Vol. 51, No. 2. – P. 261-266.

**Кадырбергенов Ж.К.**, кандидат технических наук,  
e-mail: [taukenjoba@gmail.com](mailto:taukenjoba@gmail.com)