

УДК 622:519.237.5

Кравчук Игорь Леонидович

доктор технических наук,
директор Челябинского филиала
Института горного дела УрО РАН,
454048, г. Челябинск, ул. Энтузиастов, 30
e-mail: kravchuk65@mail.ru

Денисов Сергей Егорович

доктор технических наук, профессор
Южно-Уральского государственного
университета,
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76
e-mail: denisov52@mail.ru

Лапаева Оксана Анатольевна

кандидат экономических наук,
старший научный сотрудник
Челябинского филиала
Института горного дела УрО РАН
e-mail: lapaeva@yandex.ru

Неволина Елена Михайловна

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Челябинского филиала
Института горного дела УрО РАН
e-mail: nevolina-elena@yandex.ru

**О РАЗРАБОТКЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО
КРИТЕРИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
НА ГОРНОДОБЫВАЮЩЕМ
ПРЕДПРИЯТИИ****Аннотация:*

Экономическая результативность работы системы обеспечения безопасности определяется эффективным распределением ресурсов с учетом опасностей, возникающих в процессе производственной деятельности. Два сценария работы системы обеспечения безопасности на горнодобывающем предприятии: когда опасная производственная ситуация находится под контролем и когда она бесконтрольно реализуется в негативное событие – стали основой для разработки экономического критерия результативности функционирования этой системы.

Экономический критерий результативности функционирования системы обеспечения безопасности характеризует экономическую целесообразность и конкурентоспособность функционирующей на предприятии системы и представляет собой отношение средств, направленных на устранение нарушений требований безопасности и ликвидацию последствий негативных событий, к затратам на обеспечение нормативных безопасных условий труда, контроль и устранение опасных производственных ситуаций

Ключевые слова: горное производство, технологический процесс, система обеспечения безопасности производства, управление риском, опасная производственная ситуация, нарушение требований безопасности, негативное событие, результативность, экономический критерий

DOI: 10.25635/2313-1586.2018.04.090

Kravchuk Igor L.

Doctor of Engineering,
Director of the Chelyabinsk arm
of Institute of Mining UB RAS,
454048, Chelyabinsk, Entuziastov str., 30
e-mail: kravchuk65@mail.ru

Denisov Sergey E.

Doctor of Engineering,
Professor of South Ural State University,
454080, Chelyabinsk, Lenin av., 76
e-mail: denisov52@mail.ru

Lapaeva Oksana A.

Candidate of Economical Sciences,
Senior Research Worker
of the Chelyabinsk arm
of Institute of Mining UB RAS
e-mail: lapaeva@yandex.ru

Nevolina Elena M.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Research Worker
of the Chelyabinsk arm
of Institute of Mining UB RAS
e-mail: nevolina-elena@yandex.ru

**ON THE DEVELOPMENT
OF THE ECONOMIC CRITERION
FOR THE FUNCTIONING EFFECTIVENESS
OF THE PRODUCTION SAFETY
MANAGEMENT SYSTEM
AT A MINING ENTERPRISE***Abstract:*

The economic effectiveness of the production safety management system is determined by the effective allocation of resources, taking into account the hazards that may arise in the process of production activities. Two scenarios of the production safety management system at the mining enterprise are possible — when the hazardous production situation is under control and when it is uncontrollably result in a negative event — have become the basis for the development of economic criterion for the effectiveness of this system.

The economic criterion of the effectiveness of the production safety management system characterizes economic expediency and competitiveness of the system functioning at an enterprise. This criterion is the ratio of the means, aimed at improvement the violations of safety requirements and consequences of negative events removal to the costs of ensuring standard safe working conditions, control and elimination of hazardous production situations.

Key words: mining, technological process, production safety management system, risk management, hazardous production situation, violation of safety requirements, negative event, effectiveness, economic criterion.

* Статья подготовлена по результатам выполнения в 2017 г. Госзадания 007-01398-17-00.

Тема № 0405-2015-0010

Введение

Безопасность производства как объективно существующее явление обладает экономическим потенциалом, который заключается в том, что повышение уровня безопасности является оптимальным условием и средством обеспечения текущей устойчивой работы предприятия на необходимом уровне эффективности. Эффективность и безопасность, таким образом, являются равнозначными и тесно взаимосвязанными социально-экономическими категориями.

Эффективность системы охраны труда проявляется в создании условий для бесперебойного протекания производственного процесса [1]. Это утверждение справедливо и для системы обеспечения безопасности на горнодобывающем предприятии [2, 3]. Исследование функционирования системы обеспечения безопасности производства во взаимосвязи с экономикой предприятия показало значимость функции управления риском для поддержания требуемого уровня экономической эффективности горного производства [4].

Производственный риск и методы его снижения

При разработке экономического критерия функционирования системы обеспечения безопасности целесообразно применять понятие «производственный риск», поскольку он связан с особенностями конкретного производства, применяемой технологии, менеджмента, условий труда, то есть включает в себя множество видов риска, присущих горному производству.

Производственный риск на горнодобывающем предприятии является следствием выбора решения, направленного на достижение целевого результата хозяйственной деятельности при вероятности получения экономического или любого другого ущерба в силу неопределенности условий реализации того решения. Здесь производственный риск рассматривается как вероятностная мера получения ущерба от реализации принятого решения в условиях стохастических процессов. Соответственно, и модели принятия решений основаны на описании вероятностного развития ситуации.

В настоящее время управление производственным риском целесообразно осуществлять путем контроля, то есть недопущения или устранения нарушений требований безопасности и опасных производственных ситуаций, о чем свидетельствуют работы последних лет [5 – 14].

Методы управления производственным риском, ставшие основой для разработки экономического критерия результативности системы обеспечения безопасности, были применены на предприятиях АО «СУЭК-Кузбасс».

В этой компании, как и на большинстве отечественных угледобывающих предприятий, повышенный (относительно целей предприятий и компаний) уровень производственного риска связан с наличием значительного количества нарушений требований безопасности. Установлено, что на повышение уровня производственного риска определяющее влияние оказывают два основных фактора. Первый — это повторяемость: после устранения нарушения требования безопасности оно возникает вновь, поскольку не ликвидируется его причина. Второй фактор — продолжительность существования нарушения требования безопасности: чем дольше оно не устраняется, тем выше риск возникновения негативного события (рис. 1).

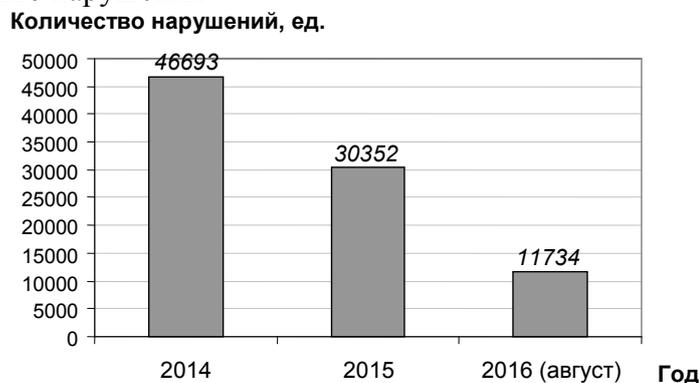
Вывод о влиянии указанных факторов подтверждается статистическими распределениями и результатами корреляционного анализа. Таким образом, работа персонала угледобывающего предприятия по снижению производственного риска сводится к уменьшению количества нарушений требований безопасности путем сокращения частоты повторов и оперативного устранения этих нарушений. В связи с этим в механизм снижения уровня производственного риска целесообразно включить следующие этапы:

анализ нарушений требований безопасности; выявление причин возникновения и повторов нарушений; планирование работы производственного участка по устранению нарушений и их причин, контроль за выполнением планов.



Рис. 1 — Факторы, обуславливающие формирование и повышение уровня производственного риска [9, 10, 12]

а) общее количество нарушений



б) среднемесячное количество нарушений

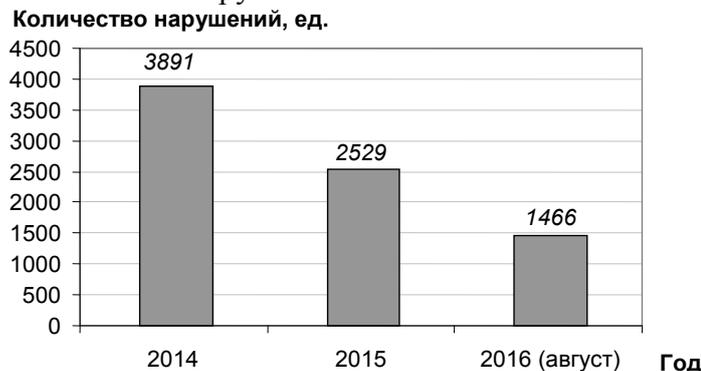


Рис. 2 — Динамика нарушений требований безопасности на шахте им. 7 Ноября (АО «СУЭК-Кузбасс») в 2014 – 2016 гг.

Результаты работы предприятий АО «СУЭК-Кузбасс» по управлению производственным риском посредством сокращения количества нарушений требований безопасности являются убедительным доказательством результативности и целесообразности этой деятельности. Так, на шахте им. 7 Ноября (АО «СУЭК-Кузбасс») было уменьшено среднемесячное количество нарушений требований безопасности (рис. 2б), что обусловило сокращение количества негативных событий и, как следствие, экономического ущерба на шахте (рис. 3).

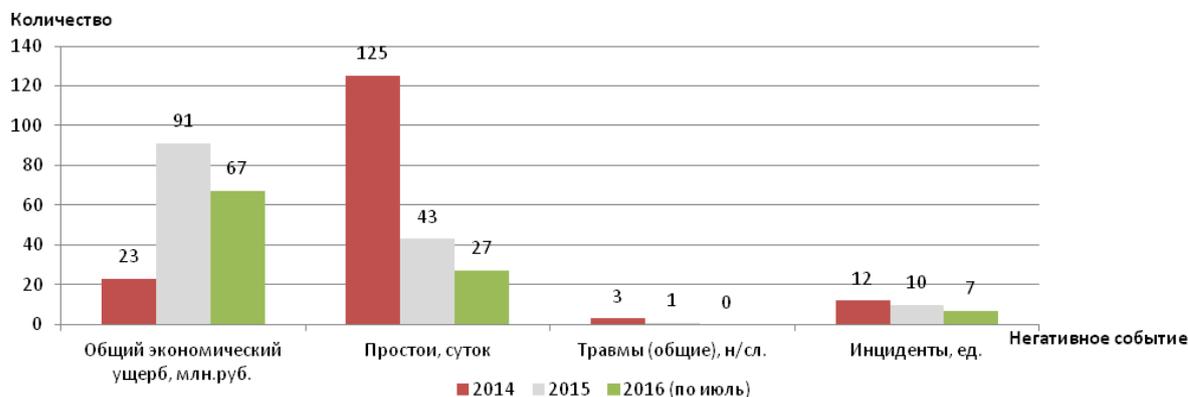


Рис. 3 — Динамика негативных событий и связанного с ними ущерба на шахте им. 7 Ноября (АО «СУЭК-Кузбасс») [4]

Необходимость дальнейшего снижения уровня производственного риска обуславливает следующий этап работы, целью которого является уменьшение количества допускаемых нарушений требований безопасности при осуществлении горных работ. Для этого следует выявлять и брать под контроль причины, обуславливающие возникновение нарушений требований безопасности. Эта задача решается посредством выявления и устранения опасных производственных ситуаций (ОПС).

Описание опасных производственных ситуаций, характерных для каждого предприятия, участка, производственного цикла, операции, является надежным методом выявления причин нарушений требований безопасности. Это объясняется тем, что зарождение, развитие и реализация (или не реализация) ОПС определяется наличием сформированной совокупности обстоятельств и факторов (в частности, нарушений требований безопасности), которая сопровождается адекватными или неадекватными решениями и действиями работников [5].

Выявление ОПС осуществляется на основе анализа данных, полученных в ходе наблюдений. При этом устанавливается текущая стадия развития опасной ситуации, затем моделируется ОПС в целом, то есть все этапы ее зарождения и развития.

Рассмотрение негативных событий на угледобывающих предприятиях АО «СУЭК» в аспекте формирования и развития опасной производственной ситуации позволило установить, что ее зарождение происходит в штатном режиме функционирования объекта (участка, шахты). На этой стадии развития опасную ситуацию сложно идентифицировать, поскольку возрастание производственного риска вследствие появившегося нового фактора может остаться незамеченным, так как повышение опасности незначительно, происходит в течение длительного времени и не приводит к возникновению нарушений требований безопасности.

Фиксация работниками угледобывающего предприятия нарушений требований безопасности как признаков наличия ОПС впервые осуществляется на стадии развития, поскольку система управления охраной труда и промышленной безопасностью реагирует на явные признаки.

На стадии кризисного состояния опасной производственной ситуации время ее развития сокращается до диапазона часы – секунды и увеличение риска травмирования

происходит резко (скачкообразно). В этот момент совокупность опасных факторов и условий труда преобразуется в критическую комбинацию, и происходит негативное событие. Контролировать ситуацию на стадии кризисного состояния весьма сложно: высокая скорость ее развития превышает возможности реагирования системы управления промышленной безопасностью и охраной труда.

В связи с этим для повышения эффективности контроля целесообразно начинать превентивные действия на стадии зарождения ОПС, когда она еще не проявилась в виде повторяющихся нарушений требований безопасности, то есть осуществлять упреждающий тип контроля. Цель упреждающего типа контроля — не допускать возникновения или развития опасной производственной ситуации. Применение этого типа контроля требует участия работников всех уровней управления угледобывающего предприятия для принятия и реализации решений по устранению или блокированию опасной производственной ситуации.

На стадии развития целесообразен ситуативный тип контроля и соответствующий ему алгоритм действий, суть которого заключается в недопущении критической совокупности факторов – устранении как минимум одного значимого фактора, формирующего ОПС (рис. 4).

На стадии кризисного состояния ОПС алгоритм управленческого воздействия сводится, собственно, к двум действиям: остановке производственного процесса и немедленному устранению критического фактора, который с вероятностью, близкой к единице, может привести к наступлению негативного события. Остановка процесса необходима для снижения скорости возрастания риска (практически до нуля). После остановки возможно проведение работ по устранению критического фактора.

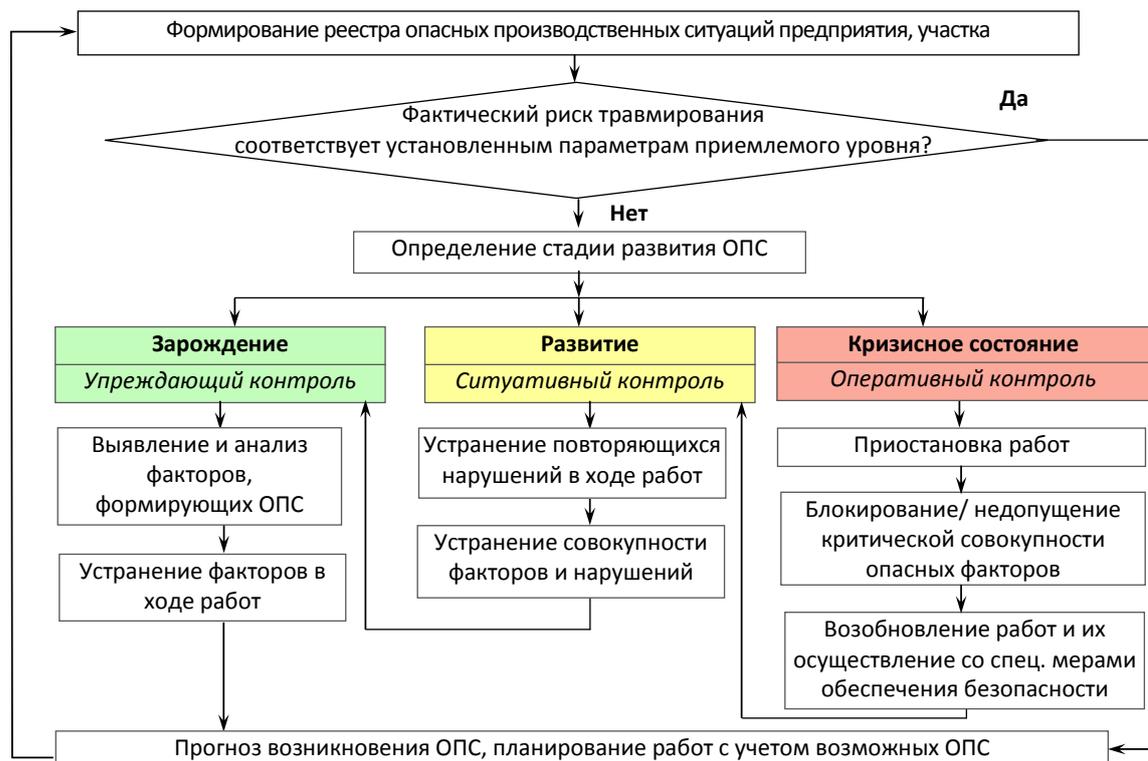
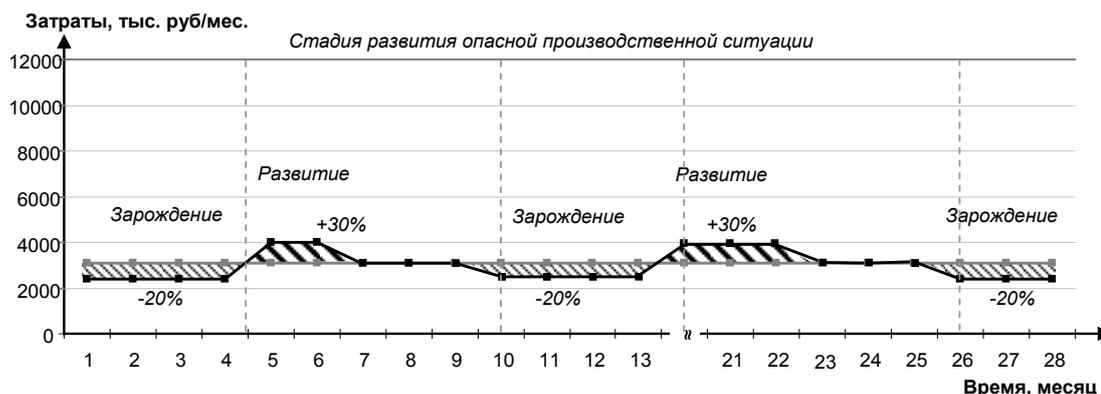


Рис. 4 — Алгоритм действий по контролю за стадиями развития ОПС [13, 14]

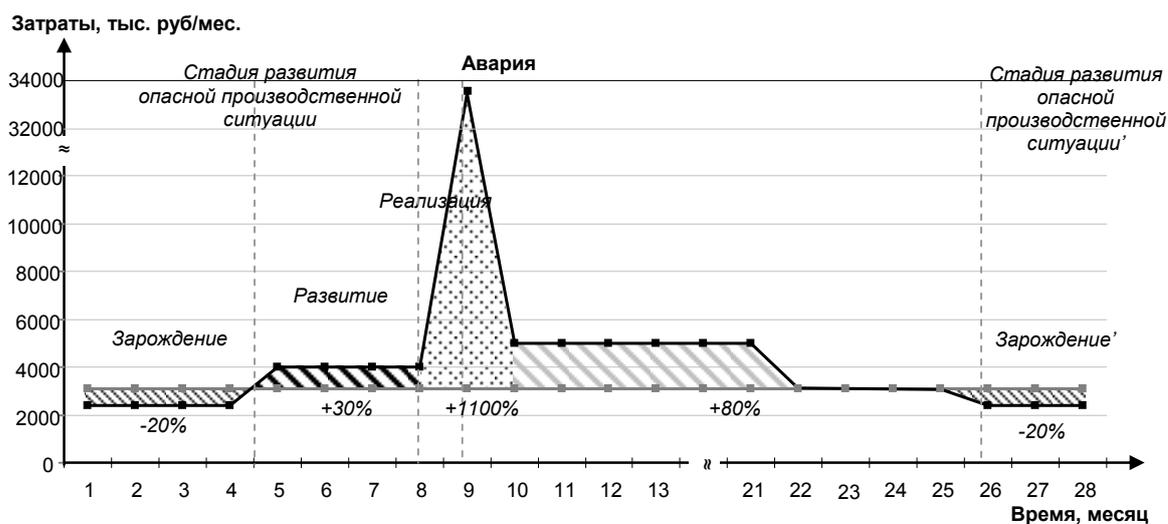
В результате реализации этого алгоритма было достигнуто уменьшение производственного риска. Например, на шахте им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс» по фактическим значениям сокращения количества негативных событий производственный риск снизился в 1,5 – 1,7 раза.

Разработка и применение экономического критерия результативности функционирования системы обеспечения безопасности производства на шахте им. С.М. Кирова (АО «СУЭК-Кузбасс»)

Исследование результатов работы угледобывающих предприятий по сокращению количества повторов нарушений требований безопасности, по выявлению и устранению опасных производственных ситуаций позволило сформировать два основных сценария работы: когда опасная производственная ситуация ликвидируется и когда она реализуется в негативное событие (рис. 5).



а) с учетом нарушений требований безопасности и стадий опасной производственной ситуации, **не реализовавшейся** в негативное событие (сценарий 1)



б) с учетом нарушений требований безопасности и стадий опасной производственной ситуации, **реализовавшейся** в аварию (сценарий 2)

- Плановые затраты на обеспечение безопасности дегазационных работ, тыс. руб/мес.
- Фактические затраты на обеспечение безопасности дегазационных работ, тыс. руб/мес.:
- ▨ -20% — сокращение запланированных затрат из-за единичных нарушений требований безопасности;
- ▨ +30% — увеличение запланированных затрат из-за повторов нарушений требований безопасности и их несвоевременного устранения (выплаты штрафов, затраты на устранение нарушений, упущенная выгода из-за простоев и остановок органами надзора);
- ⊙ +1100% — увеличение запланированных затрат, обусловленное одновременными выплатами и ущербом от аварии;
- ▨ +80% — увеличение запланированных затрат из-за устранения последствий аварии (покупка нового оборудования, демонтаж и т.д.)

Рис. 5 — Динамика затрат на обеспечение безопасности процесса дегазации (на примере обслуживания операции бурения дегазационных скважин на шахте им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс»)

Под экономикой безопасности в рамках данного исследования понимается распределение ограниченных ресурсов предприятия для удовлетворения потребностей его персонала и собственников в обеспечении приемлемого уровня риска аварий и травм при выполнении производственной программы. В соответствии с этим результативность работы системы обеспечения безопасности определяется эффективным распределением ресурсов с учетом опасностей, возникающих в процессе производственной деятельности.

Эта идея реализуется посредством следующей схемы функционирования системы обеспечения безопасности. В условиях ограниченных ресурсов (имеются в виду средства, запланированные на обеспечение безопасности в текущем году) при возникновении опасной производственной ситуации, во-первых, она должна быть оперативно идентифицирована (опережающий тип контроля) и, во-вторых, должно быть принято решение – либо о постоянном ее контроле с целью предотвращения аварии (травмы, инцидента), либо о немедленном ее устранении. При этом имеющиеся финансовые и иные ресурсы, во избежание перерасхода средств на обеспечение безопасности производства, должны быть перераспределены и направлены на недопущение работы по сценарию 2 (см. рис. 5 б).

В связи с изложенным экономический критерий результативности функционирования системы обеспечения безопасности должен отражать степень адекватности (по экономическим основаниям) реакции системы обеспечения безопасности на уровень опасности технологического процесса горного производства.

Экономический критерий результативности функционирования системы обеспечения безопасности ($K_p^{\text{э}}$) предлагается рассчитывать по следующей формуле:

$$K_p^{\text{э}} = \frac{C_{\text{нар.}}}{Z_{\text{опс}}},$$

где $C_{\text{нар.}}$ — средства, затраченные на устранение нарушений требований безопасности (штрафы надзорных органов, упущенная выгода от простоев, затраты на ликвидацию последствий негативных событий);

$Z_{\text{опс}}$ — затраты на осуществление работы предприятия в штатном режиме, включая затраты на контроль и устранение опасных производственных ситуаций.

С учетом предложенного экономического критерия на основе данных о динамике затрат в Управлении дегазации и утилизации метана, обслуживающем шахту им. С.М. Кирова (АО «СУЭК-Кузбасс»), и о расходах на ликвидацию последствий аварии с дегазационным оборудованием, происшедшей на горном отводе этой шахты в 2017 г., была построена математическая модель сценариев работы горного предприятия.

Модель основана на ежемесячном учете отклонений от запланированных затрат на обеспечение безопасности процесса дегазации угольных пластов шахты им. С.М. Кирова в 2017 г. Применение модели позволяет рассчитывать фактические затраты на обеспечение безопасности при различных сценариях развития событий и сравнивать их с запланированными показателями на рассматриваемый период (табл. 1).

Расчет значений экономического критерия осуществлялся на основе данных табл. 1 по следующей формуле:

$$K_p^{\text{э}} = \frac{C_{\text{нар.}}}{Z_{\text{опс}}} = \frac{(4500 \cdot 6)}{(3080 \cdot 6) + (2400 \cdot 16)} = \frac{27000}{56880} = 0,47 \text{ (сценарий 1);}$$
$$K_p^{\text{э}} = \frac{C_{\text{нар.}}}{Z_{\text{опс}}} = \frac{(4500 \cdot 3) + 33759 + (5000 \cdot 12)}{(3080 \cdot 4) + (2400 \cdot 8)} = \frac{107259}{31520} = 3,4 \text{ (сценарий 2).}$$

Согласно модели, адекватная реакция системы обеспечения безопасности на возникающие в ходе производственной деятельности опасности (работа по сценарию 1) ха-

рактируется значением критерия $K_p^{\ominus}=0,47$. Происшедшая на горном отводе шахты авария, то есть реализовавшаяся опасная производственная ситуация, показала, что реакция системы обеспечения безопасности была несвоевременной: значение экономического критерия $K_p^{\ominus}=3,4$. Следствием этого стал ущерб от аварии, который составил 52539 тыс. руб.

Таблица 1

Модель сценариев работы горного предприятия по обеспечению безопасности процесса дегазации

Параметр	Режим работы					Значение критерия (K_p^{\ominus})
	Штатный (без нарушений требований безопасности)	С нарушениями требований безопасности	С остановками производства и устранением нарушений	Аварийный	Поставарийный	
Фактический показатель						
Плановые расходы, тыс. руб/мес.	3080	3080	3080	3080	3080	—
Фактические расходы, тыс. руб/мес.	3080	2400	4500	33759	5000	—
Неосвоенные средства, тыс. руб/мес.	—	680	—	—	—	—
Перерасход средств, тыс. руб/мес.	—	—	1420	30679	1920	—
Сценарий 1: опасная производственная ситуация устраняется						
Время работы в режиме, мес.	6	16	6	0	0	0,47
Неосвоенные средства, тыс. руб/мес.	—	10880	—	—	—	
Перерасход средств, тыс. руб.	—	—	8520	—	—	
Сценарий 2: опасная производственная ситуация реализуется в негативное событие						
Время работы в режиме, мес.	4	8	3	1	12	3,4
Неосвоенные средства, тыс. руб/мес.	—	5440	—	—	—	
Перерасход средств, тыс. руб.	—	—	4260	30670	23040	

Таким образом, расчет по предложенной модели показал, что затраты на устранение последствий аварии в два раза превышают расходы на создание и поддержание нормативных и безопасных условий работы.

Выводы

Разработанный экономический критерий, который представляет собой отношение средств на устранение нарушений требований безопасности к затратам на контроль и ликвидацию ОПС, целесообразно применять на предприятиях горной отрасли для оценки экономической результативности системы обеспечения безопасности производства: чем ближе значение критерия к нулю, тем результативнее работа системы.

Использование математической модели, включающей критерий результативности функционирования системы обеспечения безопасности, позволяет рассчитывать фактические затраты на обеспечение безопасности при различных сценариях развития событий и сравнивать их с запланированными показателями на рассматриваемый период, а самое главное — оценивать экономическую обоснованность и конкурентоспособность функционирующей на горном предприятии системы обеспечения безопасности.

Литература

1. Латышова Т.А. Экономический анализ и оценка эффективности затрат на охрану труда в условиях угольных шахт / Т.А. Латышова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – № 9. – С. 241 - 243.
2. Кравчук И.Л. Теоретические основы и методы формирования системы обеспечения безопасности производства горнодобывающего предприятия: дис. ... докт. техн. наук. Спец. 05.26.01 – «Охрана труда» / И.Л. Кравчук. – М., 2001. – 273 с.
3. Organization: A new focus on mine safety improvement in a complex operational and business environment /Komljenovic D., Loiselle G. , Kumral M. //International Journal of Mining Science and Technology, Vol. 27, Issue 4, July 2017, Pages 617-625. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.05.006>.
4. Особенности формирования и функционирования систем обеспечения безопасности горнодобывающих предприятий в сложных условиях разработки месторождений / И.Л. Кравчук, В.А. Пикалов, Е.М. Неволлина, Е.П. Ютяев, Ю.М. Иванов // Уголь. – 2017. – № 5. – С. 60 - 67.
5. Артемьев В.Б. Безопасность производства (организационный аспект) / В.Б. Артемьев, В.А. Галкин, И.Л. Кравчук. – М.: Горная книга, 2015. – 144 с.
6. Механизм предотвращения реализации опасной производственной ситуации / В.Б. Артемьев, В.А. Галкин, А.М. Макаров, И.Л. Кравчук, А.В. Галкин // Уголь. – 2016. – № 5. – С. 73 - 77.
7. Освоение контроля опасных производственных ситуаций – новый этап в повышении безопасности и эффективности производства в АО «СУЭК» / В.Б. Артемьев, В.В. Лисовский, А.А. Сальников, Е.П. Ютяев, Ю.М. Иванов, И.Л. Кравчук // Уголь. – 2016. – № 12. – С. 46 - 50.
8. Резервы повышения безопасности производства в АО «СУЭК» / В.Б. Артемьев, В.В. Лисовский, А.И. Добровольский, И.Л. Кравчук // Уголь. – 2017. – № 8. – С. 106 - 113.
9. Формирование механизма устранения повторяющихся нарушений требований безопасности на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» / В.Ю. Гришин, Е.Е. Китляйн, И.Л. Кравчук, А.В. Смолин // Комбинированная геотехнология: Масштабы добычи и качество сырья при комплексном освоении месторождений: матер. междунар. науч.-техн. конф. – Магнитогорск, 2013. – С. 61 - 63.

10. Гришин В.Ю. Снижение добавленного риска травмирования персонала угольной шахты, обусловленного нарушениями требований безопасности / В.Ю. Гришин // Уголь. – 2014. – № 10. – С. 68 - 71.

11. О механизме устранения повторяющихся нарушений требований безопасности на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» / Ю.М. Иванов, В.Ю. Гришин, Е.Е. Китляйн, И.Л. Кравчук, Е.М. Неволина, А.В. Смолин // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 11. – С. 28 - 30.

12. Кравчук И.Л. Риск негативных событий, обусловленный нарушениями требований безопасности, и способ его снижения: Отдельная статья / И.Л. Кравчук, В.Ю. Гришин, А.В. Смолин / Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 6 (спец. выпуск 28). – 20 с.

13. Лисовский В.В. Управление производственными рисками посредством контроля и устранения опасных производственных ситуаций на угледобывающем предприятии / В.В. Лисовский // Безопасность труда в промышленности. – 2016. – № 2. – С. 67 - 72.

14. Лисовский В.В. Управление производственным риском путем предотвращения критической совокупности опасных факторов на угольном предприятии: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Спец. 05.26.01 – «Охрана труда» / В.В. Лисовский. – М., 2016. – 26 с.