

Формула (15) определяет характерный размер осколков в зависимости от веса заряда и расстояния от центра заряда. В общем виде это может быть записано как

$$\langle x \rangle = X(Q, R). \quad (17)$$

Ранее отмечалось, что формула (5) дает зависимость между тепловыми потерями и интенсивностью дробления, то есть величиной $\langle x \rangle$. Эта зависимость может с большой точностью быть выражена соотношением

$$\Delta Q = \langle x \rangle^{-2}. \quad (18)$$

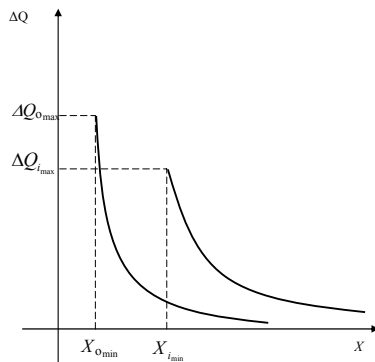
На рис. 1 показана общая закономерность соотношения между этими двумя параметрами.

Если обозначить через r границу разрушения, а через r_0 радиус цилиндрического заряда, то средний размер куска грансостава взорванной горной массы может быть определен соотношением

$$\langle x \rangle = B \int_{r_0}^r R dr, \quad (19)$$

$$B = 2\pi^2 S_2 (r_2 - r_0^2)^{-1}, \quad (20)$$

Рис. 1. Зависимость между потерями энергии на нагрев породы и интенсивностью разрушения среды



Для области разрушения $r_0 \leq r$, согласно формуле (15), имеем

$$\langle x \rangle = 8 f E \varepsilon_*^2 / \rho A^2 (\alpha + 1) \sigma_* r^{2\alpha} / Q^\alpha. \quad (21)$$

Если ввести замену $V = \pi r^2$, то окончательно получим

$$\langle x \rangle = K (E \varepsilon_*^2 / \sigma_*) (V / Q)^\alpha, \quad (22)$$

где K - числовой коэффициент, зависящий от свойств разрушаемой среды.

При условии $\sigma = E \varepsilon_*$ (хрупкое разрушение) формула (22) примет вид

$$\langle x \rangle = K (\sigma_* / E) (V / Q)^\alpha, \quad (23)$$

теоретически оптимальный случай для процесса взрывного разрушения, если $\Delta Q = 0$, тогда согласно [4]

$$\langle x \rangle_{opt} = \sigma_*^2 / 2 E f. \quad (24)$$

Выражение (23) нужно рассматривать как теоретический предел эффективности использования энергии взрыва, к которому необходимо стремиться в реальных условиях при проведении взрывных работ.

Список литературы

1. Детонационные волны в конденсированных средах / А.Н. Дремин, С.Д. Савров, В.С. Трофимов, К.К. Шведов. - М.: Наука, 1971. - 162 с.
2. Кузнецов В.М. О плоской волне разрушения // ФГВ. - 1974. - № 1. - С. 124-127.
3. Действие взрыва в горных породах / Друкованый М.Ф., Комир В.М., Кузнецов В.М. - К.: Наукова думка, 1973. - 184 с.
4. Родионов В.Н. О подобии процесса дробления при взрывах рудного масштаба // В кн. Механизм разрушения горных пород взрывом. - К.: Наукова думка, 1971. - С. 107-112.
5. Власов О.Е., Смирнов С.А. Основы расчета дробления горных пород взрывом. - М.: АН СССР, 1962. - 101 с.

Рукопись поступила в редакцию 04.01.14

УДК 622.062:622.281

Д.В. БРОВКО, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет

БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ ШАХТ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ КОНСТРУКЦИЙ СООРУЖЕНИЙ

На основе руководств по формальной оценке безопасности выполнен анализ риска возникновения аварийных ситуаций в зданиях и сооружениях, на примере обрушения конструкций сооружения поверхности горнодобывающего предприятия.

Проблема и ее связь с другими практическими задачами. Высокий уровень травматизма и особенно аварий, сопровождающихся смертельными травмами в Украине, остро ставит проблему совершенствования методов их профилактики. В последние годы в мировой практике безопасность производства оценивается на основе риска нежелательных событий. Международные организации ИСО, ИМО и др. разработали теоретические основы и методики оценки риска и принятия на их основе технических решений по предупреждению аварий и травматизма на производстве [1, 2].

Специалисты различных отраслей промышленности в своих сообщениях и докладах постоянно оперируют не только определением "опасность", но и таким термином, как "риск".

В научной литературе встречается весьма различная трактовка термина "риск" и в него иногда вкладываются отличающиеся друг от друга содержания. Например, риск в терминологии страхования используется для обозначения предмета страхования (промышленного предприятия или фирмы), страхового случая (наводнения, пожара, взрыва и пр.), страховой суммы (опасности в денежном выражении) или же как собирательный термин для обозначения нежелательных или неопределенных событий. Экономисты и статисты, сталкивающиеся с этими вопросами, понимают риск как меру возможных последствий, которые проявятся в определенный момент в будущем. В психологическом словаре риск трактуется как действие, направленное на привлекательную цель, достижение которой сопряжено с элементами опасности, угрозой потери, неуспеха, либо как ситуативная характеристика деятельности, состоящая в неопределенности ее исхода и возможных неблагоприятных последствиях в случае неуспеха, либо как мера неблагоприятия при неуспехе в деятельности, определяемая сочетанием вероятности и величины неблагоприятных последствий в этом случае. Ряд трактовок раскрывает риск как вероятность возникновения несчастного случая, опасности, аварии или катастрофы при определенных условиях (состоянии) производства или окружающей человека среды. Приведенные определения подчеркивают как значение активной деятельности субъекта, так и объективные свойства окружающей среды.

Общим во всех приведенных представлениях является то, что риск включает неуверенность, произойдет ли нежелательное событие и возникнет ли неблагоприятное состояние. Заметим, что в соответствии с современными взглядами риск обычно интерпретируется как вероятностная мера возникновения техногенных или природных явлений, сопровождающихся возникновением, формированием и действием опасностей, и нанесенного при этом социального, экономического, экологического и других видов ущерба и вреда.

Под риском следует понимать ожидаемую частоту или вероятность возникновения опасностей определенного класса, или же размер возможного ущерба (потерь, вреда) от нежелательного события, или же некоторую комбинацию этих величин.

Постановка задачи. Применение понятия риск, таким образом, позволяет переводить опасность в разряд измеряемых категорий. Риск, фактически, есть мера опасности. Часто используют понятие "степень риска" (Level of risk), по сути не отличающееся от понятия риск, но лишь подчеркивающее, что речь идет об измеряемой величине.

Изложение материала и результатов. Все названные (или подобные) интерпретации термина "риск" используются в настоящее время при анализе опасностей и управлении безопасностью (риском) технологических процессов и производств в целом.

Риск возникает при следующих необходимых и достаточных условиях:
существование фактора риска (источника опасности);

присутствие данного фактора риска в определенной, опасной (или вредной) для объектов воздействия дозе;

подверженность (чувствительность) объектов воздействия к факторам опасностей

Между авариями в самых разных отраслях можно заметить явное сходство. Обычно аварии предшествует накопление дефектов в оборудовании или отклонения от нормального хода процессов. Эта фаза может длиться минуты, сутки или даже годы. Сами по себе дефекты или отклонения еще не приводят к аварии, но готовят почву для нее. Операторы, как правило, не замечают этой фазы из-за невнимания к регламенту или недостатка информации о работе объекта, так что у них не возникает чувства опасности. На следующей фазе происходит неожиданное или редкое событие, которое существенно меняет ситуацию. Операторы пытаются восстановить нормальный ход технологического процесса, но, не обладая полной информацией, зачас-

тую только усугубляют развитие аварии. Наконец, на последней фазе еще одно неожиданное событие - иногда совсем незначительное - играет роль толчка, после которого техническая система перестает подчиняться людям, и происходит катастрофа.

Риск является неизбежным, сопутствующим фактором промышленной деятельности. Риск объективен, для него характерны неожиданность, внезапность наступления, что предполагает прогноз риска, его анализ, оценку и управление - ряд действий по недопущению факторов риска или ослаблению воздействия опасности.

Строительство, реконструкция и эксплуатация зданий и сооружений на поверхности шахт относится к высоким классам риска, что обусловлено как спецификой выполнения работ (отсутствие постоянных рабочих мест и повышенная опасность процессов производства), так и организационными факторами. Это требует совершенствования профилактической работы по повышению безопасности строительного производства на основе существующих методов оценки риска.

В данной работе ставится задача использовать известную методику для анализа потенциальных опасностей аварии сооружения (обрушения конструкций), трансформировав ее для условий строительства.

Безопасность человека и защита окружающей среды - две взаимосвязанные проблемы безопасности жизнедеятельности. Международная организация стандартизации (ИСО) трактует безопасность как отсутствие недопустимого риска, связанного с возможностью нанесения ущерба [1].

На основе анализа и обобщения результатов исследований в области техногенной безопасности было разработано Руководство по формальной оценке безопасности - Formal Safety Assessment (FSA) [2]. FSA - структурированная и систематизированная методология, направленная на повышение безопасности, включая защиту жизни и здоровья человека, окружающей среды и собственности на основе оценки риска с учетом требуемых затрат и получаемых выгод.

Чаще всего риск определяют как частоту реализации нежелательного события - количественную оценку опасности [3].

FSA рассматривает термин "риск" как произведение частоты на ущерб от аварии, то есть величина риска может быть рассчитана исходя из следующего выражения:

$$R = \lambda \cdot Y ; \quad (1)$$

где R - расчетная величина риска, 1/год или грн./год.; λ - частота аварий рассматриваемого типа, 1/год; Y - ущерб от аварии, без размерности или в грн.

Размерность 1/год применяется в том случае, если оценивается риск гибели человека (индивидуальный риск), а размерность грн./год - при оценке риска потери материальных ценностей или экологического риска.

В соответствии с FSA [2] шкала риска имеет три области. В первую входит пренебрежимо малый риск, во вторую - риск столь большой, что он считается чрезмерным или неприемлемым. Между этими двумя областями располагается область приемлемого риска, т.е. такого риска, который не настолько мал, чтобы с ним не считаться, но и не так велик, чтобы считать его чрезмерным.

В общем случае приемлемым является уровень риска техногенной деятельности, который общество готово принять ради получаемых экономических и социальных выгод.

В соответствии с критериями, принятыми в мировой практике [2], недопустимым считается индивидуальный риск, превышающий $1 \cdot 10^{-4}$ 1/грн., т.е. когда в течение года от данного типа нежелательных событий гибнет 1 человек из 10000.

Приемлемым (допустимым) считается индивидуальный риск, если его уровень лежит в диапазоне $1 \cdot 10^{-4}$ - $1 \cdot 10^{-6}$ 1/год. Эта область риска требует принятия специальных мер по управлению им.

Значение риска $1 \cdot 10^{-6}$ 1/год в экономически развитых странах принимается за границу допустимого уровня риска. Область риска меньше этого значения предполагает, что меры безопасности, принятые в данной сфере техногенной деятельности, находятся на уровне, не требующем специального вмешательства для их дальнейшего совершенствования.

При оценке степени риска следует учитывать суммарный ущерб, вызванный как гибелью людей, так и материальными потерями и ущербом окружающей среде. С этой целью необходи-

мо рассматривать соответствие материального ущерба в денежном выражении ущербу от гибели человека.

Используемая методика основана на концепции приемлемого риска и имеет целью выявление опасностей до того, как они приведут к аварии. При этом учитываются технические, человеческие и организационные факторы, а также стоимость работ, связанных с повышением безопасности.

Выполним оценку риска аварии сооружения (с обрушением конструкций). Реализация методики предусматривает ряд этапов.

На первом этапе осуществляется оценка степени риска аварии и идентификация опасности ее возникновения.

Для оценки величины риска используем предложенный метод определения индексов частоты и ущерба для аварий с применением логарифмической шкалы, трансформировав его для условий нашей задачи.

Согласно методике: $\text{риск} = \text{частота} \times \text{ущерб}$ или

$$\lg R = \lg \lambda + \lg Y; \quad (2)$$

тогда

$$R = 10^{[\lg \lambda + \lg Y]} = \lg \lambda \cdot \lg Y. \quad (3)$$

Вводя обозначения $\lg \lambda = (FI-6)$ и $\lg Y = (SI-3)$, получаем выражение для оценки величины риска

$$R = 10^{[FI-6]} \cdot 10^{[SI-3]} = 10^{[RI-9]}, \quad (4)$$

где FI - индекс частоты аварии (*Frequency Index*); число 6, вычитаемое из индекса частоты, соответствует значению частоты 1,0 1/год (табл.1); SI - индекс ущерба от аварии (*Severity Index*); число 3, вычитаемое из индекса ущерба, соответствует относительному ущербу 1,0 (табл.2); RI - индекс риска аварии (*Risk Index*), значения которого приведены в табл.3.

Как видно, величина (-9) в степенном выражении ($RI-9$) формулы (4), соответствующая частоте аварий 1 в год, с относительным ущербом 1,0 принята за базовую при определении риска R . Величина риска при других сочетаниях FI и SI определяется на основе статистических данных или экспертным методом с помощью табл.1-3. В табл.3 индексы риска аварии (RI) находятся суммированием значений индексов ущерба (SI) и частоты аварий (FI). Определив при помощи таблиц индекс риска по формуле (4), можно установить ориентировочное числовое значение риска аварии, сравнить его с допустимыми значениями и сделать вывод об уровне рассматриваемой опасности.

Таблица 1

Индексы частоты аварийных ситуаций

FI	Частота аварии	Способ определения	λ (на одно сооружения в год)
1	Чрезвычайно редко	1 раз за 100 лет на одном из 1000 сооружений	10^{-5}
2		1 раз в 10 лет на одном из 1000 сооружений	10^{-4}
3	Редко	1 раз в год на одном из 1000 сооружений	10^{-3}
4		1 раз в год на одном из 100 сооружений	10^{-2}
5	Умеренно	1 раз в год на одном из 10 сооружений	10^{-1}
6		1 раз в год на одном сооружении	1,0
7	Часто	1 раз в месяц на одном сооружении	10

Таблица 2

Индексы ущерба от аварии

SI	Ущерб от аварии	Воздействие на человека	Воздействие на сооружение	Относительный ущерб
1	Низкий	Отдельные или незначительные травмы	Местное повреждение оборудования	10^{-2}
2	Существенный	Многочисленные или серьезные травмы	Незначительное повреждение сооружения	10^{-1}
3	Серьезный	Единичная гибель людей или многочисленные травмы	Сильное повреждение сооружения	1,0
4	Катастрофический	Многочисленная гибель людей	Полное разрушение сооружения	10

Таблица 3

Индексы риска аварии RI

FI	Частота аварии	Тяжесть (ущерб) аварии (SI)			
		1 низкая	2 существенная	3 серьезная	4 катастрофическая
1	Чрезвычайно редко	2	3	4	5
2		3	4	5	6
3	Редко	4	5	6	7
4		5	6	7	8
5	Умеренно	6	7	8	9
6		7	8	9	10
7	Часто	8	9	10	11

В данном случае на основании статистических данных примем, что подобного рода авария (полное обрушение) может происходить один раз в год на одном из 100 сооружений, т.е. $FI=4$. Такая авария обычно сопровождается многочисленной гибелью людей и вызывает серьезные повреждения конструкций, т.е. относится к серьезным $SI=4$. Тогда, на основании полученных данных по табл. 3, определяем индекс риска аварии $RI=7$.

Подставляя найденное значение RI в формулу (4), определим величину риска аварии

$$R = 10^{[RI-9]} = 10^{[7-9]} = 10^{-2} \text{ 1/год}, \quad (5)$$

Сравнивая полученную величину риска с его допустимыми границами, делаем вывод о том, что риск аварии сооружения (обрушения конструкций) является неприемлемым (10^{-2} 1/год $> R_{\text{доп}} < 10^{-4}$ 1/год) и требует принятия дополнительных мер по снижению риска.

Для этого проведем идентификацию опасности аварии с выявлением и оценкой факторов, оказывающих влияние на величину риска. Указанная цель может быть достигнута при помощи построения дерева распределения риска (дерева событий и опасностей).

Цель следующего этапа - выбор мероприятий по снижению риска аварии на основании проведенной идентификации опасности.

Третий этап предусматривает оценку затрат и выгод от реализации мероприятий, предложенных на предыдущем этапе.

На заключительном этапе вырабатываются окончательные рекомендации по управлению безопасной эксплуатацией сооружения с использованием существующей нормативной базы по охране труда.

Выводы и направление дальнейших исследований. Таким образом, системный анализ риска возникновения возможных дефектов конструкций сооружения и организационных причин, которые могут привести к аварии, позволяет управлять безопасностью при его эксплуатации.

В этом направлении ведется множество исследований и разработок. Надеемся, что после более детальных исследований проведенных нами и данная методика может быть применена при анализе риска любого процесса при строительстве, ремонте и эксплуатации зданий и сооружений на поверхности горнодобывающих предприятий.

Список литературы

1. Безопасность труда, санитария и гигиена. Терминология: Справочное пособие. - М.: Изд-во стандартов, 1990. - 173 с.
2. Formal Safety Assessment Including Environmental Indexing of Ships. MEPS 45/13, 2000.
3. **Коржик Б.М.** Теоретичні основи безпеки життєдіяльності. - К., 1995. - 107 с.

Рукопись поступила в редакцию 18.09.13