В.А.БЕЛИН, Д.К.ПОТРЕСОВ, Н.И.БУХАНОВА
Московский горный университет, Россия

ЭКСПЕРТНЫЙ МЕТОД СНИЖЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ РАСЧЕТАХ СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Анализ современного состояния производства взрывных работ показал, что дальнейший рост интенсивности и масштабов взрывных работ сдерживается вредным влиянием на окружающую среду сейсмических волн, вызываемых взрывами [5]. Во избежание такого действия сейсмических волн, а также в целях повышения эффективности взрывов и обеспечения сейсмической безопасности проведения взрывных работ необходимо: более точно определять пара-

метры, интенсивность и допустимые уровни воздействия сейсмики взрыва и учитывать влияние различных факторов сейсмики взрыва.

Прогнозирование и оценка основных параметров сейсмики взрыва включает определение допустимой массы Q заряда ВВ, сейсмобезопасного расстояния до охраняемых объектов r_c, допустимой скорости колебаний грунта $V_д$, условий проведения взрыва, типа сейсмической волны, свойств грунта в месте наблюдения [1].

Расчет значений Q, r_c, $V_д$, определение свойств горных пород, отнесение пород и защищаемых объектов к тем или иным классам производится сейчас достаточно субъективно [2] вследствие неопределенности и многовариантности условий проведения взрыва (взаимозависимость характеристик охраняемых объектов, состояние пород на пути распространения сейсмической волны от взрыва, способ взрывания и др.). В процессе принятия решений по основным факторам эксперт – лицо, принимающее решение (ЛПР), оценивает реальную ситуацию и определяет наиболее подходящие значения и коэффициенты сейсмики взрыва (коэффициент сейсмичности и степень обводненности горных пород, тип и состояние здания, сооружения). При этом ЛПР работает с нечеткими понятиями: качество строительных работ *хорошее*, здание в *удовлетворительном* состоянии, *небольшие* жилые поселки, *ветхие* каменные здания, *новое* (*старое*) кирпичное здание, *относительно* монолитные породы и т.д. Эксперт принимает решения, исходя из накопленного опыта и интуиции, пользуясь собственными неформализованными правилами и критериями, по которым он определяет, что данное здание находится именно в *удовлетворительном* состоянии или что здание можно отнести к *ветхим*. Бывают ситуации, когда при принятии решения эксперт сомневается при выборе альтернатив и затрудняется выразить их в конкретных формах, указанных в нормативно-справочных таблицах [2].

В процессе проектирования взрывных работ, связанном с обработкой большого объема информации, мнения разных экспертов могут расходиться, быть неоднозначными, а порой и противоречить друг другу. К тому же в настоящее время на горных предприятиях наблюдается постоянный дефицит высококвалифицированных специалистов взрывного дела [3]. Снижение неопределенности и учет влияния основных факторов сейсмической безопасности взрывных работ применительно к конкретным условиям возможны только на основе взаимоуточнения знаний и объективизации мнений отдельных специалистов с помощью *экспертной системы сейсмической безопасности* (ЭССБ) ведения взрывных работ [2, 4].

Поскольку фактически при решении задачи обеспечения сейсмически безопасного проведения взрывных работ приходится пользоваться знаниями экспертов, которые выражаются в нечеткой словесной форме, то в результате обычная задача принятия решения оказывается «погруженной» в нечеткую среду [3, 4]. Чтобы достигнуть полного описания всех факторов задачи (характеристик и значений параметров сейсмической безопасности), не поддающихся точному количественному описанию, необходимо ввести в рассмотрение качественные описания.

Обработка нечеткой информации обеспечивается применением *лингвистического подхода*, в рамках которого в качестве значений переменных допускаются не только числа, но и слова и предложения естественного языка, формализуемые аппаратом *теории нечетких множеств* [3]. Эта теория стала мощным инструментом для решения широкого круга проблем, в которых важное место занимают субъективные, трудно формализуемые знания и оценки субъекта.

Изучение и анализ расчетов сейсмобезопасного производства взрывных работ на примере ряда производств (Афанасьевского карьера, Калужского щебеночного завода) позволили выделить следующую группу основных факторов, оказывающих наибольшее влияние на сейсмическую безопасность:

- приведенная масса заряда ВВ в серии при короткозамедленном взрывании (КЗВ) $\overline{Q} = \sqrt[3]{Q} / r$, где r – расстояние от места взрыва до охраняемого объекта;
- приведенное расстояние от места взрыва до охраняемого объекта $\overline{r} = r / \sqrt[3]{Q}$;
- класс гражданских, жилых, культурно-бытовых или промышленных зданий в соответствии со скоростью смещения грунта в их основании;
- суммарный ранг здания $P = P_т + P_м + P_с$, где $P_т$ – тип здания, $P_м$ – материал стен или заполнитель, $P_с$ – состояние или сохранность здания;

• динамическая характеристика горных пород в основании охраняемого объекта в соответствии со скоростью продольной волны;

• коэффициент сейсмичности горных пород k_c;

• степень обводненности горных пород;

• возможный экономический ущерб от проведеного взрыва.

Качественные и количественные диапазоны значений основных факторов сейсмобезопасного производства взрывных работ представлены в таблице.

Основные факторы сейсмической безопасности ведения взрывных работ

Параметр сейсмической безопасности	Диапазон значений	Словесное определение
Масса $\overline{Q}$, кг$^{1/3}$/м	0,4-0,17	Несущественная
	0,17-0,03	Малая
	0,03-0,007	Средняя
	> 0,007	Большая
Зона взрыва в соответствии с $\overline{r}$, м/кг$^{1/3}$	2,5-6,0	Ближняя
	6,0-30,0	Расширенная
	30-150	Дальняя
	> 150	Слабая
Класс зданий гражданских (промышленных) по допустимой скорости колебаний $v_д$, м/с	< 1	Особо ответственное
	1-8 (2-10)	Ответственное
	1,5-12 (4-12)	Менее ответственное
	3-16 (6-16)	Неответственное
Состояние здания, сооружения в соответствии с рангом Р, баллы	0; 1; 2	Хорошее
	2; 3; 4; 5	Удовлетворительное
	5; 6	Ухудшающееся
	> 6	Плохое
Динамическая характеристика грунта в основании здания, сооружения в соответствии со скоростью продольной волны, м/с	1000-2000	Совсем слабый
	2000-3000	Очень слабый
	3000-4000	Слабый
	4000-5000	Средний
	5000-6000	Прочный
	6000-7000	Очень прочный
Коэффициент сейсмичности (способность проводить сейсмические колебания породой) k_c, м/кг$^{1/3}$	3,15-4,5	Очень низкий
	4,0-5,69	Низкий
	5,03-7,04	Средний
	6,26-8,95	Высокий
	7,94-12,5	Очень высокий
Степень обводненности пород	1	Малообводненные
	1-1,75	Среднеобводненные
	> 1,75	Сильнообводненные
Экономический ущерб, %	100	Существенный
	50-100	Приемлемый
	10-50	Несущественный
	< 10	Практически отсутствует

Два независимых фактора: приведенная масса заряда ВВ в серии при КЗВ и приведенное расстояние, – являются входными параметрами при решении задачи обеспечения сейсмически безопасного производства взрывных работ. Остальные факторы отражают возможные диагнозы, характеризующие условия проведения взрывных работ. Каждый параметр описывается словесно и соответствующим количественным диапазоном значений, характеризующим принятые градации факторов.

Для оценки влияния указанных факторов, каждый из которых вносит свою неопределенность в расчеты, и их учета в экспертной системе сейсмической безопасности был введен коэффициент сейсмической безопасности $K_{без}$, который отражает уровень неопределенности и является выходным параметром задачи обеспечения сейсмической безопасности ведения взрывных работ. Используя методы теории нечетких множеств, $K_{без}$ позволяет объективизировать мнения различных специалистов взрывного дела и избежать возможных ошибок. Коэффициент $K_{без}$ изменяется в диапазоне от 0 до 1, где ноль означает, что неопределенность минимальна, а единица – максимальную неопределенность, возникающую для конкретных условий (сочетания основных факторов) ведения взрывных работ, при которой ведение работ невозможно. Градация $K_{без}$ на 11 значений обеспечивает наиболее точный и полный учет неопределенности и способствует принятию соответствующих мер по ее устранению и обеспечению безопасности.

Градация $K_{без}$ следующая:

Словесное определение – уровень влияния $K_{без}$	Лингвистическая оценка	Количественная оценка
Чрезвычайно сильное (ведение работ невозможно)	B_1	1,0
Очень сильное	B_2	0,9
Сильное	B_3	0,8
Достаточно сильное	B_4	0,7
Не очень сильное	B_5	0,6
Совсем несильное	B_6	0,5
Слабое	B_7	0,4
Достаточно слабое	B_8	0,3
Очень слабое	B_9	0,2
Совсем слабое	B_{10}	0,1
Отсутствует	B_{11}	0

На этапе наполнения знаниями ЭССБ инженер по знаниям – эксперт в области искусственного интеллекта – работает совместно с экспертами в области безопасности и ведения взрывных работ. Процесс работы инженера по знаниям с квалифицированными специалистами состоит в выявлении и структуризации наиболее важных понятий, а также в определении и формулировке правил отношений между понятиями при определении сейсмической безопасности ведения взрывных работ.

Для отмеченных целей были составлены специальные таблицы для сейсмобезопасной массы заряда и сейсмобезопасного расстояния от места взрыва до охраняемых объектов, отражающие субъективные правила, используемые специалистом при принятии решений о сейсмобезопасности ведения работ. Правила выражаются в импликативном виде: ЕСЛИ X_i есть A_i, ТО D_j с коэффициентом B_i, где X_i – признак $(i = \overline{1,2})$; A_i – реализация признака $(i = \overline{1,4})$; D_j – диагноз $(i = \overline{1,26})$; B_i – лингвистическая оценка $K_{без}$ $(i = \overline{1,11})$ [3, 4].

Эти таблицы были заполнены пятью ведущими специалистами, работающими на Афанасьевском карьере, Калужском щебеночном заводе, АООТ «Трансвзрывпром» и Московском горном университете, что позволило объединять и использовать их многолетний опыт в области безопасности и ведения взрывных работ в ЭССБ на конкретных объектах в определенных условиях.

Применение интеллектуальных информационных систем, в частности экспертной системы сейсмической безопасности, при решении проблемы взаимоуточнения знаний отдельных специалистов обеспечивает следующие преимущества:

• позволяет максимально использовать знания и накопленный опыт каждого специалиста;

• наиболее полно учитывает субъективные мнения (оценки) всех специалистов, принимающих участие в проектировании взрыва;

• выявляет единственно адекватное и объективное решение проблемы;

• максимально точно устанавливает уровень сейсмической безопасности;

• повышает обоснованность принятых решений по сейсмической безопасности ведения взрывных работ;

• устанавливает приемлемый компромисс между безопасностью и эффективностью взрывных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность взрывных работ в промышленности / Под ред. Б.Н.Кутузова. М: Недра, 1992.

2. *Белин В.А., Потресов Д.К., Буханова Н.И.* Экспертная система обеспечения сейсмической безопасности ведения взрывных работ. См. настоящий сборник.

3. *Заде Л.А.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976.

4. *Насыпный В.В.* Интеллектуальные информационно-управляющие системы: Учеб. пособие / В.В.Насыпный, Д.К.Потресов, Н.И.Федунец / МГГУ. М., 2000.

5. *Цейтлин Я.И.* Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов / Я.И.Цейтлин, Н.И.Смолий. М.: Недра, 1981.