

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

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Для осуществления широкой программы экономического и социального развития страны необходимо использовать в производстве огромные сырьевые и топливно-энергетические ресурсы, что связано с увеличением объемов взрывных работ и масштабов взрывов, широко применяемых при добыче полезных ископаемых из недр. Сейсмические и ударные воздушные волны, вызываемые подобными взрывами, во многих случаях оказывают вредное влияние на окружающую среду, а также на гражданские и промышленные сооружения, сдерживая, таким образом, дальнейший рост интенсивности взрывных работ [7].

Для того чтобы обеспечить безопасность взрывных работ при достаточной их эффективности, необходимо достоверно знать свойства сейсмических и ударных волн взрыва, их связь с параметрами взрыва, а также уметь определять их интенсивность и допустимые уровни воздействия.

Несмотря на сложность и достаточную неопределенность сейсмических движений при взрыве выявлены общие закономерности, связывающие их характеристики с параметрами взрыва и безопасным с точки зрения сейсмоки расстоянием, которые удовлетворяют следующим требованиям:

- достаточно просты и включают минимальное число характеристик взрыва и среды;
- относительно консервативны;
- включают такие параметры движения, которые наиболее тесно связаны с параметрами сейсмической волны, способной вызывать повреждения конструкций.

Определение наиболее точного сейсмически безопасного расстояния от места взрыва до охраняемого объекта (здания, сооружения) является одним из параметров сейсмической волны, называемым критерием сейсмической безопасности взрыва.

При проектировании взрывных работ специалисты вынуждены принимать решения в условиях некоторой неопределенности (или неоднозначности) выбора того или иного значения параметров взрывных работ. Это связано, прежде всего, с тем, что при расчетах приходится оперировать приближенными показателями [3]. Поэтому для выбора того или иного показателя специалист-взрывник субъективно оценивает тип охраняемого объекта (его характеристики) и принимает соответствующие показатели (коэффициенты). Мнения различных специалистов могут расходиться, а порой и противоречить друг другу. Необходимо поэтому использовать процедуры объективизации субъективных мнений ряда специалистов (взрывников и горняков). Эту возможность могут обеспечить интеллектуальные информационные системы, в частности экспертные системы, или компьютерная интеллектуализация сейсмической безопасности взрывных работ [5].

Предлагаемая экспертная система предназначена для принятия наиболее достоверного решения о сейсмически безопасном расстоянии от места взрыва до охраняемого объекта при ведении взрывных работ, благодаря объективизации субъективных мнений ряда специалистов (взрывников и горняков).

Рассмотрим сейсмическое действие взрыва в дальней зоне, когда центр взрыва находится в значительном удалении (более 25 м) от охраняемого объекта, который полностью охвачен той или иной фазой сейсмической волны [2].

Актуальность изучения сейсмического эффекта взрыва на дальних расстояниях объясняется тем, что чем дальше охраняемый объект от центра взрыва, тем существеннее становится влияние среды и ее геологическое строение, которое необходимо наиболее точно определить и учесть, чтобы избежать негативных последствий взрыва, не снижая его качества.

Расстояние, на котором колебания грунта, вызываемые однократным взрывом сосредоточенного заряда ВВ, становится сейсмически безопасным для зданий и сооружений [3]

$$r_c = K_r K_c \alpha \sqrt[3]{Q},$$

где r_c – расстояние от места взрыва до охраняемого объекта (здания, сооружения), м; K_r – коэффициент, зависящий от свойств грунта в основании охраняемого объекта; K_c – коэффициент, зависящий от типа охраняемого объекта и характера застройки; α – коэффициент, зависящий от условий взрывания; Q – масса заряда, кг.

Значения коэффициентов принимаются специалистом на основе опыта работ.

Значения коэффициента K_r следующие:

Породы	
Скальные плотные, ненарушенные (коэффициент крепости породы $f > 10$)	5,0
Скальные ненарушенные ($6 < f < 10$)	7,5
Скальные, нарушенные с неглубоким слоем мягких грунтов на скальном основании	8,0
Сезонно- и многолетнемерзлые породы	10,0
Необводненные песчаные и глинистые грунты глубиной более 10 м	12,0
Почвенные обводненные грунты с высоким уровнем грунтовых вод (до 3 м)	15,0
Почвенные обводненные грунты с уровнем грунтовых вод до 1,5 м	17,5
Водонасыщенные грунты (болотистые)	20,0

Примечание. Если характеристика грунта не в полной мере соответствует приведенной выше или известна ориентировочно, следует принимать для расчета ближайшее большее значение коэффициента K_r .

Значения коэффициента K_c следующие:

Одиночные здания и сооружения производственного назначения с железобетонным или металлическим каркасом	1,0
Одиночные здания высотой не более двух-трех этажей с кирпичными и подобными стенами	1,5
Жилые здания высотой пять этажей и более	2,0
Небольшие жилые поселки	2,5
Ветхие (старые) жилые здания	3,0
Старинные постройки, памятники культуры и т.п.	4,0

Значения коэффициента α следующие:

Камуфлетный взрыв и взрыв на рыхление	1,0
Взрыв на выброс	0,8
Взрыв полууглубленного заряда	0,5

Примечание. При размещении заряда в воде или в водонасыщенных грунтах значения коэффициента следует увеличить в 1,5-2 раза.

Принято считать, что сейсмическая безопасность зданий и сооружений при взрывах предполагает отсутствие повреждений, нарушающих нормальное их функционирование (вероятность появления в отдельных таких объектах легких повреждений составляет около 0,1).

При расчете сейсмически безопасного расстояния r_c коэффициенты K_r , K_c и α принимаются субъективно специалистами, проектирующими взрыв, исходя из накопленного опыта и табулированных показателей. В ряде случаев значения расстояний получаются неточными, завышенными или заниженными, что влияет на безопасность и эффективность взрывных работ, производительность предприятия, а также ограничивает внедрение передовой технологии взрывных работ [7].

Таким образом, выбор сейсмически безопасного расстояния должен, с одной стороны, обеспечить максимальную безопасность взрыва, а с другой стороны, не снижать производительность предприятия. Практика показывает, что в каждом конкретном случае при расчете сейсмически безопасного расстояния специалистам приходится идти на компромисс, который иногда оказывается неприемлемым. Применительно к конкретным геологическим условиям и системе взрывных работ наиболее точное определение коэффициентов возможно на основе взаимоуточнения решений отдельных специалистов.

Применение интеллектуальных информационных систем, в частности экспертной системы (см. рисунок), при решении проблемы определения сейсмически безопасного расстояния при ведении взрывных работ позволит: максимально использовать знания и наиболее полно учесть накопленный опыт каждого специалиста; выявить единственно адекватное и объективное решение проблемы и установить приемлемый компромисс между безопасностью и эффективностью взрывных работ.

Экспертной системой сейсмической безопасности (ЭССБ) будем считать следующие [4- 5]:

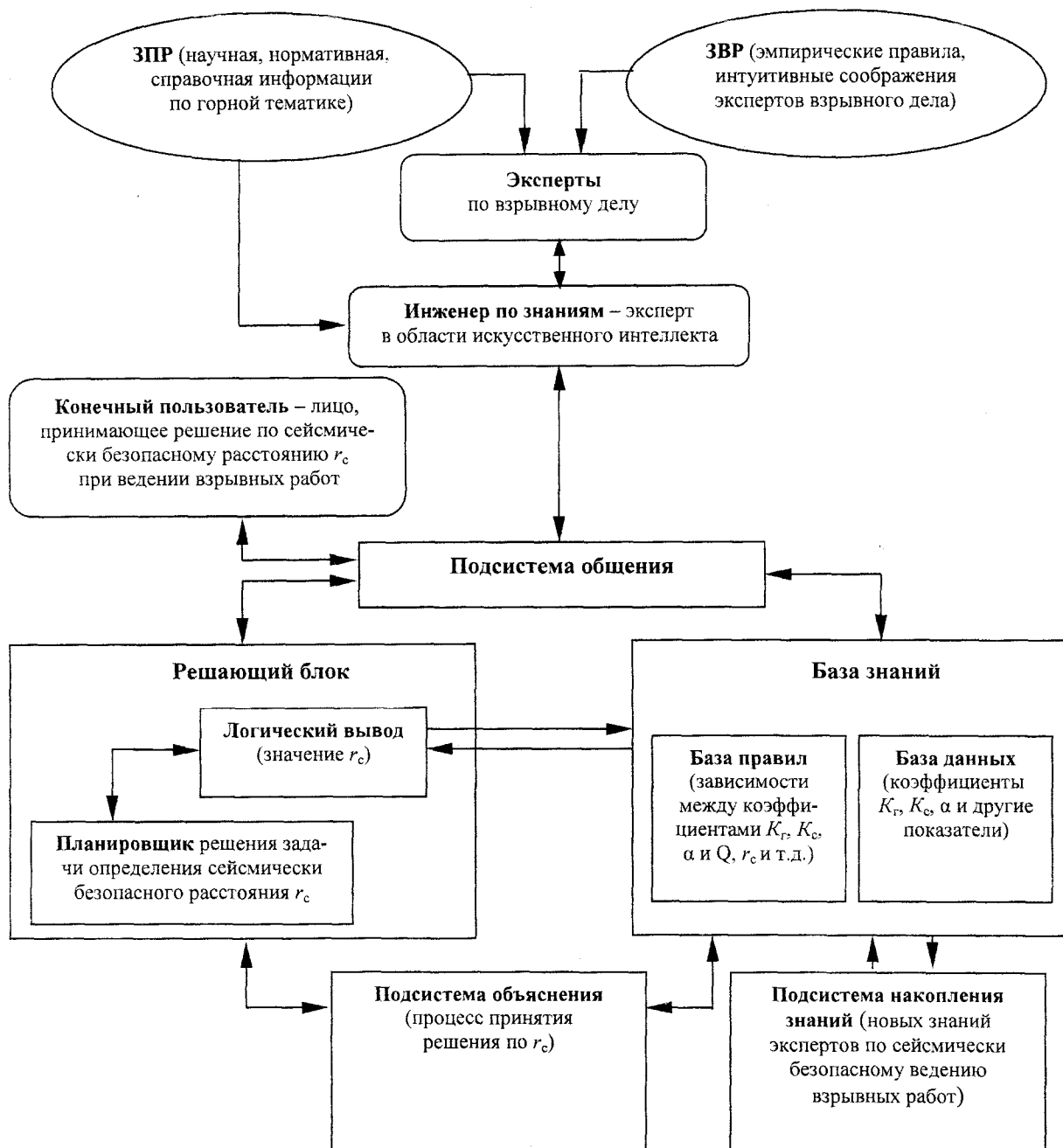
- интеллектуальную систему-советник, предназначенную для выдачи рекомендаций в тех случаях, когда для таких рекомендаций нужно иметь много знаний;
- комплекс программ ЭВМ, использующих знания и технику рассуждений специалиста-эксперта;
- человеко-машинную систему, в состав которой входят подсистемы объяснения, которые отвечают на вопросы как и почему, подводят пользователя к тому или иному выводу.

Четкого определения, что такое экспертная система, не существует, поэтому экспертными системами называют широкий класс систем, обладающих следующими свойствами [4, 6]:

- получение результатов на основе логических рассуждений и эвристик, а не строгих вычислений;
- способность приобретать знания от экспертов, объяснять решения пользователю и общаться с пользователем на близком к естественному языке.

ЭССБ включает базу знаний, решающий блок, подсистему общения, подсистему объяснений и подсистему накопления знаний. Через подсистему общения с ЭССБ связаны конечный пользователь – специалист, принимающий решение; эксперты – квалифицированные специалисты по взрывному делу, опыт и знания которых намного превосходят знания и опыт рядового конечного пользователя (горняки, технологи-взрывники, геологи как одного предприятия, так и ряда предприятий), инженер по знаниям – эксперт в области искусственного интеллекта, владеющий языками описания знаний.

На этапе наполнения знаниями ЭССБ инженер по знаниям и эксперты работают совместно. Процесс работы инженера по знаниям с квалифицированными специалистами в области безопасности ведения взрывных работ состоит в выявлении и структуризации наиболее важных



Структура экспертной системы сейсмической безопасности ведения взрывных работ

понятий, а также определении и формулировке правил отношений между понятиями при определении сейсмически безопасного расстояния от места взрыва до охраняемого объекта.

На этапе эксплуатации и использования ЭССБ работает конечный пользователь – специалист или ответственное лицо, принимающее решения, связанные с безопасностью взрывных работ.

Знания, которыми заполняется ЭССБ, представляют собой совокупность знаний первого и второго рода. Знания первого рода (ЗПР) – это общезначимые факты, явления, закономерности, т.е. истины, признанные в рассматриваемой предметной области и зафиксированные в книгах, статьях, справочниках и т.п. Знания второго рода (ЗВР) – эмпирические правила, ин-

туитивные соображения и факты, которые дают возможность опытному специалисту принимать эффективные решения даже в условиях неполных и противоречивых исходных данных.

Знания в ЭССБ фиксируются в базе знаний, в которой условно можно выделить интенциональную и экстенциональную (собственно базу данных) части (термины заимствованны из семиотики – науки о знаковых системах). Интенционал – это те общие понятия и отношения, которые характеризуют множество объектов, предметов, явлений; экстенционал – конкретные характеристики каждого элемента этого множества понятий и отношений [5]. Например, понятие охраняемый объект является интенционалом по отношению к множеству экстенционалов – видов охраняемых объектов (производственное здание, жилое здание, архитектурная постройка и т.д.) с конкретными характеристиками. Таким образом, структурно база знаний (БЗ) организована в виде базы данных (БД) и базы правил (БП) [1]. В БД хранится фактографическая информация о решаемой задаче и данные, которые относятся к рассматриваемой предметной области (коэффициенты K_r , K_c и α , конкретные горно-геологические показатели, характеризующие различные типы грунтов и т.д.). БП определяет отношения между элементами данных, хранящихся в БД, на основе модели представления знаний (теории нечетких множеств), а также способы активизации этих знаний. В связи с этим база знаний в ЭССБ предназначена для хранения долгосрочных данных и правил, описывающих целесообразные преобразования этих данных.

В решающий блок поступают входные данные конкретной задачи (определения сейсмически безопасного расстояния с заданными параметрами условий проведения взрывной работы). Планировщик определяет стратегию решения и необходимые модули (в том числе для математических вычислений), которые требуется подключить в процессе решения, связывается через блок логического вывода с базой знаний и извлекает необходимые знания и данные.

Важное значение имеет подсистема объяснения, которая отвечает конечному пользователю на вопросы, как и почему экспертная система приняла то или иное решение. ЭССБ преобразует экспертные эвристические правила в цепочку рассуждений. Она показывает, как начальное множество данных (тип грунта в основании охраняемого объекта, тип охраняемого объекта, условие взрывания и т.д.) и утверждений (например, вероятность появления в отдельных объектах легких повреждений составляет около 0,1), а также набор эвристических и других правил приводят ЭССБ к конкретному заключению.

Подсистема накопления знаний позволяет формировать эмпирические зависимости из неполных данных, извлекать из экспертов новые знания, записывать их в базу знаний с соответствующей предварительной синтаксической и семантической проверкой, а также выявлять и устранять противоречивые знания. Подсистема накопления знаний может строить из знаний второго рода знания первого рода, порождать теорию и затем выводить новые факты.

В заключение отметим, что благодаря созданию и внедрению ЭССБ знания квалифицированных экспертов в области безопасности и взрывного дела станут доступными широкому кругу специалистов, что приведет к росту профессиональной культуры, к сокращению сроков подготовки работников взрывного дела, компетентность которых в значительной мере определяется опытом и объемом накопленных знаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев Р.А. Производственные системы с искусственным интеллектом / Р.А.Алиев, Н.М.Абдикеев, М.М.Шахназаров. М.: Радио и связь, 1990.
2. Безопасность взрывных работ в промышленности / Под ред. Б.Н.Кутузова. М.: Недра, 1992.
3. Единые правила безопасности при взрывных работах / Под ред. М.П.Васильчук, НПО ОБТ. М., 1993.
4. Интеллектуальные САПР технологических процессов в радиоэлектронике / Под ред. В.Н.Ильина. М.: Радио и связь, 1991.
5. Поспелов Г.С. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии. М.: Наука, 1988.
6. Потресов Д.К. Информационный механизм управления горного производства / МГИ. М., 1993.
7. Цейтлин Я.И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов / Я.И.Цейтлин, Н.И.Смолий. М.: Недра, 1981.