

На второй линии на расстоянии 4-6 м от забоя они меняют направление в сторону выработанного пространства. Образовавшийся из деформаций "силсовой каток" зажимает массив над рабочим пространством очистного забоя. В целом же деформации узловых элементов изменялись в зависимости от величины подвигания очистного забоя вглубь переходной зоны. При этом деформации изменялись не пропорционально росту нагрузки, а волнообразно. В отдельных точках величина таких колебаний отличалась в два раза. Деформации силовых узлов  $\varepsilon_y$  снижались пропорционально увеличению нагрузки.

При выходе очистного забоя из зоны высоких нагрузок механизм деформации силовых узлов  $\varepsilon_y$  отличается от описанного выше. Зона расхождения в деформациях по точкам значительно сузилась, а интенсивность их в зоне опорного давления возросла (рис. 1, б). Первоначально деформации незначительно увеличиваются. Затем они практически остаются на одном уровне, вплоть до выхода очистного забоя в зону низких напряжений и лишь там уменьшаются.

Сравнивая значения деформаций  $\varepsilon_x$  по двум направлениям движения очистного забоя по переходной зоне необходимо отметить, что общий уровень деформаций при выходе из зоны высоких напряжений выше, чем при входе в нее. Над рабочим пространством забоем она превышает в два раза. Характерной особенностью является то обстоятельство, что при проходе очистным забоем переходной зоны не удается достичь результата, который был при обратном порядке нагружения породного массива. Вероятно, здесь сказывается роль мощности зависающих слоев кровли над выработанным пространством. Они догружают массив впереди забоя, компенсируя тем самым разницу нагружений. Это подтверждает и тот факт, что деформации также остаются стабильными на большей части пути подвигания очистного забоя в переходной зоне.

Выводы. Механизм деформации слоистого массива пород зависит от направления прохождения очистными забоями зон различной напряженности, что сказывается на формировании «ложной кровли» в литологических разностях и обрушении пород в рабочее пространство забоя.

УДК 622.271.3.001.63.:681.3.06

И.Л. Гуменик, В.В. Панченко, А.М. Иванов, В.В. Ковалёв  
**МЕТОДОЛОГИЯ ВЫБОРА СОСТАВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ В САПР ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КАРЬЕРА**

У статті викладається підхід до рішення задачі вибіру технологічного устаткування залізорудних кар'єрів заснований на застосуванні експертних систем (ЕС) для прийняття інженерних рішень. Дослідна перевірка швидкого прототипу ЕС підтвердила ефективність цього підходу до рішення даної задачі і послужила основою для розробки дослідницького та промислового зразка ЕС.

Постановка задачі. Как известно, задача выбора состава комплекса технологического оборудования железорудного карьера решается при его проектировании и реконструкции, а также при замене оборудования в ходе его эксплуатации. Важность её эффективного решения обуславливается значительными раз-

мерами последующих прямых капитальных вложений на приобретение оборудования, создание (реконструкцию) соответствующей инфраструктуры, монтаж и наладку оборудования. Кроме того, состав комплекса технологического оборудования оказывает влияние на другие проектные решения и их практическую реализацию (в первую очередь, на способ, схему и параметры вскрытия). Таким образом решение этой задачи также косвенно влияет на объём горно-капитальных и горно-подготовительных работ и на затраты, связанные с их проведением.

По известным причинам при реализации данной задачи в САПР карьера дополнительную актуальность получают вопросы рационального уровня формализации её постановки и системной реализации.

Анализ предшествующих разработок. Анализ с этих позиций основных работ [1-7], посвященных вопросам выбора технологического оборудования железорудных карьеров, показал, что в настоящее время нет единой общепринятой методики решения данной задачи, уровень корректности и формализации которой позволил бы принять её для реализации в САПР карьера.

Такое положение объясняется сложностью задачи выбора состава комплекса технологического оборудования железорудного карьера, которая, на наш взгляд, определяется следующими причинами информационного и методологического характера. Причины информационного характера обуславливаются:

- большим числом факторов, влияющих на выбор состава комплекса технологического оборудования и взаимосвязанным характером этих факторов; условно их можно разделить на природные (горно-геологические, физико-механические и т.п.), экономические (стоимостные и другие показатели, определяющие состояние рынка сырья, оборудования и продукции) и технологические (проектные решения по карьере и по инфраструктуре предприятия в целом); как следствие – неоднозначность влияния того или иного фактора и вытекающие отсюда трудности учета этого влияния в конкретных условиях;

- слабой формализуемостью описания значительной части факторов, допускающих только вербальное задание их свойств; как следствие - слабая формализуемость описания их влияния на выбор состава комплекса технологического оборудования карьера, что ещё более усиливает аспект отмеченной выше неоднозначности;

- значительной неопределенностью и недостоверностью ряда факторов, особенно – природных и экономических, что сказывается на эффективности принятого решения по составу оборудования.

Причины методологического характера обуславливаются отсутствием единой общепринятой методики проектирования железорудного карьера. Между тем, очевидно, что постановка любой проектной задачи, в том числе и задачи выбора состава комплекса технологического оборудования, в значительной мере определяется её местом в общей последовательности проектных задач.

В результате действия этих двух групп причин известные разработки данной задачи отличаются разнообразием учитываемых факторов и способами их учёта, технологическими условиями, критериями оптимизации, уровнем формализации.

зации постановок задачи в целом и степенью детализации методик решения.

Подводя итог анализу известных разработок задачи выбора состава комплекса технологического оборудования с позиций реализации в САПР железорудного карьера, приходим к выводу, что имеет место слабоформализуемая динамическая задача принятия решений по выбору вариантов в условиях неопределенностей, использующая представление нечетких знаний. Как уже отмечалось, неопределённость факторов, наличие нечётких знаний и слабая формализуемость обуславливаются, в первую очередь, информационными причинами. Динамический характер задачи обуславливается необходимостью учёта динамики проектных параметров карьера и динамики затрат. В методологическом плане постановка данной задачи определяется принятым в САПР обобщённым алгоритмом проектирования железорудного карьера, задающим последовательность решения всего множества проектных задач.

Выбор методологии решения задачи. Наиболее приемлемым подходом для решения подобных задач в настоящее время является создание и применение экспертных систем [8, 9]. Сопоставление отмеченных выше особенностей задачи выбора состава комплекса технологического оборудования железорудных карьеров с методологией разработки экспертных систем (ЭС) позволило предвзительно обосновать целесообразность этого подхода, т.к. в данном случае:

- разработка ЭС возможна (существуют эксперты, которые решают данную задачу лучше, чем начинающие специалисты; в большинстве случаев эксперты сходятся в оценке предлагаемых решений; эксперты могут выразить на естественном языке и объяснить используемые ими методы; задача требует только рассуждений, а не действий; задача допускает определённую формализацию);

- разработка ЭС оправдана (решение задачи принесёт значительный эффект);

- разработка ЭС реализуема (сточки зрения методологии (задача может естественным образом решена посредством манипуляции с символами, а не только с числами, как в математических методах и традиционных программах; задача имеет эвристические компоненты; задача достаточно сложная).

Технологико-экономическое обоснование экспертной системе. Технологико-экономическое обоснование экспертной системы задает её содержательный аспект и, тем самым, в значительной степени определяет её эффективность. По этой причине по результатам тщательного анализа к применению было принято подавляющее большинство технологических условий и рекомендаций из [1-7], допускающих реализацию в экспертной системе (рекомендации и методики отдельных расчетов по выбору выемочно-погрузочного оборудования, параметры областей рационального применения отдельных видов транспорта, методики отдельных расчётов при выборе моделей автосамосвалов и т.д.).

В качестве исходного множества возможных вариантов состава была принята технологическая классификация комплексов оборудования, представленная в [6].

В основу метода определения варианта состава положена идея его формирования путем последовательной детализации: на основе анализа соответствия заданных проектировщиком условий определяются возможные классы ком-

плексов оборудования, детализируется вид оборудования для возможных классов и модели оборудования для возможных видов оборудования.

Согласно динамической концепции проектирования [10], положенной в основу создаваемой САПР железорудного карьера, задача выбора состава комплекса технологического оборудования решается после задания необходимой динамики производственной мощности карьера, определения его контуров рациональной схемы развития горных работ, календарного плана и распределения технологических потоков горной массы. Таким образом, в ЭС не принята к реализации последовательность решения данной задачи "от транспорта к горным работам", изложенная в [2. 5. 7] и характерная для традиционной концепции проектирования. Предложенный подход, в частности, предполагает переменные исходные данные по годам согласно календарному плану и дисконтированные оценки годовых затрат на оборудование.

Основные концептуальные решения по создаваемой ЭС. Соответственно принятым выше формальным признакам задачи выбора состава комплекса технологического оборудования железорудных карьеров ЭС, предназначенная для её решения и использования в составе САПР карьера, была классифицирована следующим образом:

- назначение – поддержка принятия решений проектных задач, обучение специалистов, автоматизация рутинных работ и тиражирование знаний экспертов;
- тип решаемой задачи – принятия решений в условиях неопределённости;
- характер данных – динамический;
- тип используемых методов и знаний – гибридный, допускающий использование как эвристических, так и формализованных процедур.

Важнейшими вопросами при создании любой ЭС являются выбор и обоснование модели знаний, структуры пространства состояний и стратегии поиска решения.

В качестве модели знаний в разрабатываемой ЭС приняты производственные правила, в достаточной мере просто отображающие структуру процедуры принятия решения экспертом: «условие» → «действие»;

Структура пространства состояний принята иерархическая, включающая три уровня детализации:

- первый уровень – классы комплексов технологического оборудования;
- второй уровень – виды технологического оборудования по звеньям комплекса;
- третий уровень – модели технологического оборудования по видам и звеньям;
- четвёртый уровень – экономические оценки вариантов.

В качестве стратегии поиска решения принята стратегия управления выводом "в ширину": ЭС вначале анализирует все варианты на одном уровне пространства состояний, и лишь потом переходит к анализу вариантов следующего уровня детальности. Выбор именно этой стратегии, а не стратегий управления выводом "в глубину" или "разбиением на подзадачи", обуславливается пре-

имущественно последовательным взаимодействием звеньев комплекса технологического оборудования. Поэтому выбор оборудования нельзя производить без учета оборудования смежного звена.

Соответственно различным уровням возможной формализации ЭС предусматривает три вида процедуры принятия решения:

- выбор (отсев) варианта человеком;
- рекомендация ЭС человеку по выбору (отсеvu) варианта; решение принимает человек;
- выбор (отсев) варианта экспертной системой.

Экономическая оценка вариантов состава. Экономической оценкой варианта состава для сравнительного анализа и окончательного выбора; рационального состава служат суммарные дисконтированные удельные затраты на оборудование и горно-капитальные работы (табл. 1).

Предлагаемые выше подходы к определению эксплуатационных и капитальных затрат методами приближенных экономических расчетов (способ укрупненных смет, способ единичных показателей), на наш взгляд, в условиях динамично меняющейся стоимости ресурсов, не позволяют достаточно точно рассчитать эти затраты. Поэтому в ЭС применяется метод прямого счёта.

Таблица 1 – Форма представления экономических показателей для оценки варианта состава комплекса технологического оборудования железорудного карьера

Показатель	Годы					
	1	2	3	4	...	N
Объём грузопотока, млн. т						
Капитальные затраты на технологическое оборудование, тыс. грн.						
Затраты на горно-капитальные работы, тыс. грн.						
Эксплуатационные затраты, тыс. грн., в т.ч.:						
заработная плата с начислениями						
амортизационные отчисления						
электроэнергия						
материалы						
Удельные капитальные затраты, грн./т						
Удельные эксплуатационные затраты, грн./т						
Норма дисконта						
Коэффициент дисконтирования						
Дисконтированные удельные капитальные затраты, грн./т						
Дисконтированные удельные эксплуатационные затраты, грн./т						
Дисконтированные удельные затраты, грн./т						
Суммарные дисконтированные удельные затраты, грн./т						

Дисконтированные удельные капитальные вложения определяются согласно [11, 12] по формуле:

$$k_{\text{уд}} = \sum_{t=0}^T \frac{k_t}{(1+E)^t}, \text{ грн./т.}$$

где  $k_t$  – удельные капитальные затраты в  $t$ -ый год, грн./т;  $E$  – норма дисконта, доли ед.;  $1/(1+E)^t$  – коэффициент дисконтирования. Значение  $E$  определяется исходя из депозитного банковского процента, уровня инфляции и коммерческого риска;

Соответственно, дисконтированные удельные эксплуатационные затраты определяются согласно [11, 12] по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{уд}} = \sum_{t=0}^T \frac{\mathcal{E}_t}{(1+E)^t}, \text{ грн./т.}$$

где  $\mathcal{E}_t$  – удельные эксплуатационные затраты в  $t$ -ый год, грн./т.

Экономические расчеты по оценке выбора состава комплекса технологического оборудования, как проектного решения, являются составной частью экономической оценки проекта в целом. При решении данной задачи рассчитываются затратные составляющие процессов экскавации и транспорта как на добычных, так и на вскрышных работах.

Экономическое обоснование проекта карьера в целом определяется соотношением денежных затрат и результатов за расчетный период при заданных условиях и ограничениях. В основу такого подхода в ЭС положена теория денежного потока (cash flow), широко используемая за рубежом при оценке эффективности инвестиционных проектов [11, 12, 13]. В качестве критериев оценки эффективности проекта принимаются чистый дисконтированный доход, индекс доходности, внутренняя норма доходности, срок окупаемости. Эти показатели вошли в методику технико-экономического обоснования инвестиционных проектов, разработанную комитетом Организации Объединенных Наций по промышленному развитию (ЮНИДО) [14].

Характеристика компонентов ЭС. За основу принят типовой состав и структура ЭС [8, 9]. База знаний состоит из базы фактов и базы продукционных правил. База фактов представляет собой реляционную СУБД INTERBASE включающую:

- 12 таблиц, содержащих условно-постоянные данные (исходная классификация множества технологических комплексов; рекомендуемые объемы грузооборота, расстояния транспортирования и высота подъема для различных видов транспорта; технические и стоимостные характеристики выемочно-погрузочного, транспортно-грохотильно-дробильного и другого оборудования и т.п.);

- около 20 таблиц (их количество может меняться), содержащих условно-переменные данные (данные, которые вводятся пользователем; расчетные параметры оборудования и показатели его работы и т.п.).

База продукционных правил использует иерархическую модель данных и поддерживает следующие типы данных: продукционное правило; переменная; выра-

жение (арифметическое, логическое, строковое); запрос к пользователю; запрос к базе фактов (SQL-запрос к СУБД INTERBASE); вычислительная процедура.

Интерпретатор использует прямой логический вывод знаний на основе имеющихся в базе знаний продукционных правил. Интерпретатор работает циклично и выполняет следующие действия:

- сопоставление – проверку на истинность условной части правила;
- выбор – поиск правил, условная часть которых истинна для имеющихся фактов;
- срабатывание – выполнение процедурной части выбранных правил.

Цикл останавливается в случае, если на этапе выбора не было выбрано ни одного правила, т.е. нет ни одного правила, чья условная часть истинна.

В ходе логического вывода интерпретатор поддерживает диалог с пользователем и запрашивает у него недостающие для вывода факты с помощью интерфейса пользователя (рис. 1).

База промежуточных данных служит для хранения сформированных результатов работы первых трёх уровней экспертной системы (вариантов составов комплекса технологического оборудования) и переноса их в программу экономической оценки. Представляет собой реляционную базу данных СУБД INTERBASE программно входящую в состав базы фактов.

Компонент приобретения знаний служит для добавления, изменения и удаления фактов и продукционных правил из базы знаний. Включает в себя два редактора: редактор фактов и редактор продукционных правил.

Редактор фактов позволяет редактировать базу фактов при помощи стандартных средств Delphi BDE для работы с реляционными СУБД. Предполагается, что пользователь, знакомый с основными принципами работы в СУБД, сможет самостоятельно добавлять, модифицировать и удалять факты.

Редактор продукционных правил служит для создания и модифицирования иерархической структуры и состава базы продукционных правил (включая создание, модифицирование и удаление данных всех, описанных выше, типов). На логическом уровне представляет собой редактор многосвязных списков, которыми представлена иерархическая структура базы продукционных правил. Предполагается, что продвинутый пользователь, не прибегая к помощи программиста, сможет вносить изменения в состав и структуру базы правил.

Компонент объяснения дает пользователю ответ на вопросы "что это?", "как это?" и ведет протокол хода логического вывода. Ответ на вопрос "что это?" Объясняет пользователю сущность того или иного действия системы (применения правила, выбора или отсева того или иного оборудования). Ответ на вопрос "как это?" Поясняет пользователю причину, по которой эс приняла то или иное решение, пришла к тому или иному выводу. Протокол хода логического вывода ведется с целью документирования хода вывода, а также для обеспечения пользователю возможности выбрать то или иное действие системы, по которому он хотел бы получить разъяснение.

Интерфейс инженера по знаниям служит для добавления и модифицирования знаний в базе знаний. Включает в себя графические пользовательские интерфейсы редактора фактов и редактора продукционных правил.

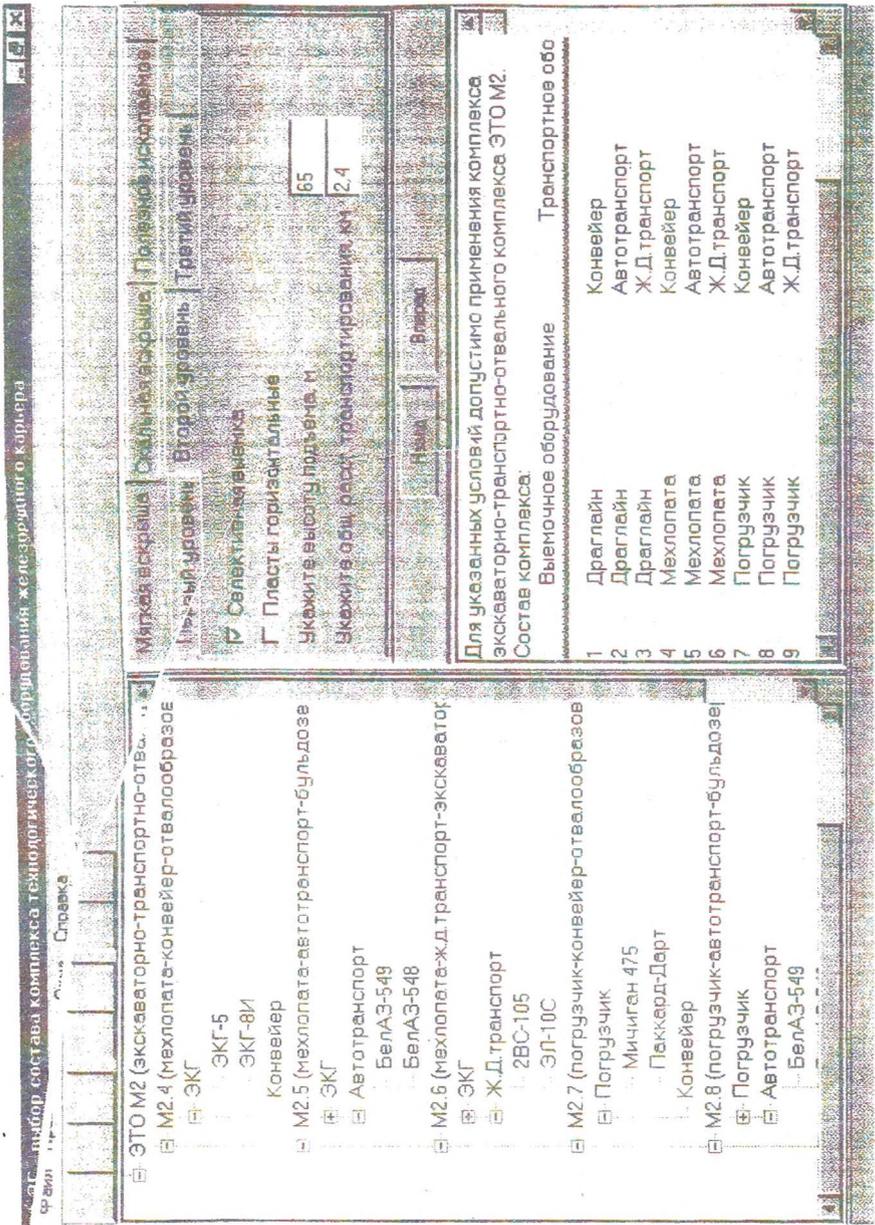


Рис. 1 - Пример окна пользовательского интерфейса

Резюме. Диагностика и тестирование быстрого прототипа ЭС, разработанного с использованием инструментальной оболочки GURU, позволили установить ошибки и неточности в составе продукционных правил, но в целом подтвердили эффективность экспертного подхода к решению задачи выбора состав комплекса технологического оборудования железорудного карьера и правильность принятых методологических положений. Это позволило создать более мощный исследовательский образец и перейти к созданию промышленного образца ЭС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Научные основы проектирования карьеров / Под общ. ред. В.В. Ржевского, М.Г. Новожилова, Б.П. Юматова. – М.: Недра, 1971. – 600 с.
2. Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Часть 2. Технологическая и комплексная механизация открытых разработок / М.Г. Новожилов, В.С. Хохлаков, Г.Д. Пчёлкин, В.С. Эскин. – М.: Недра, 1971. – 552 с.
3. Выбор внутрикарьерного транспорта / К.К. Кузнецов, А.И. Ястребов, К.М. Третьяков, А.С. Мастеров, Э.П. Васильева, А.В. Рязанов. – М.: Недра, 1975. – 152 с.
4. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий чёрной металлургии с открытым способом разработки. – Л.: Гипроурода, 1977. – 195 с.
5. Юматов Б.П., Бунин Ж.В. Строительство и реконструкция рудных карьеров. – М.: Недра, 1978. – 231 с.
6. В.В. Ржевский. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. – М.: Недра, 1981. – 631 с.
7. Хохлаков В.С. Проектирование карьеров. – М.: Недра, 1980. – 336 с.
8. Искусственный интеллект: В 3 кн. Кн. 1. Системы общения и экспертные системы: Справочник / Под ред. Э.В. Попова. – М.: Радио и связь, 1990. – 464 с.
9. Гаврилова Т.В., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2000. – 321 с.
10. Панченко В.В. Динамическая концепция проектирования открытых горных работ // Материали міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку економіки України в умовах ринкової трансформації»: Зб.: Економічний вісник Національної гірничої академії України. Том 1. – Дніпропетровськ: РВК НГА України, 1999. – С. 112-115.
11. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. – М.: Изд-во Госплан России, 1994. – 80 с.
12. Бирман Г., Шмидт С. Экономический анализ инвестиционных проектов. Пер. с англ. – М.: Баки и биржи, ЮНИТИ, 1997. – 631 с.
13. Steve Curry, John Weiss. Project Analysis in Developing Countries.- London :The Macmillan Press LTD, 1993. 356 p.
14. Орлов П. Оценка эффективности инвестиций // Экономика Украины. – 1997. – № 1. – С. 30 – 36.

УДК 622. 012.3:681.3.06

А.И. Панасенко

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА КАРЬЕРАХ

Розроблена математична модель, реалізація якої дає можливість встановити на скільки можна знизити середні значення коефіцієнта розкриття в залежності від кількості використання супутніх корисних копалин, відповісти на питання про можливість селективності розробки і складування того чи іншого виду супутніх корисних копалин і прийняти обґрунтовані технологічні рішення на всіх стадіях експлуатації кар'єра.

Одним из важнейших элементов в рамках общей стратегии рационального природопользования на карьерах является разработка и внедрение технологий более высокого уровня ресурсосбережения и экологичности. Это обусловлено тем, что открытые горные работы являются мощным источником не только горнопромышленных отходов, но и попутно добываемых полезных ископаемых (ППИ). При этом в процессе разработки и хранения не обеспечивается их со-