

# **АВТОМОБИЛИ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ. ГОРНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ**

## **VEHICLES AND TECHNOLOGICAL TRANSPORT COMPLEX. MINING TRANSPORT MACHINERY AND TRAFFIC SAFETY**

УДК 622.684:656.135.073

**В.А.АЛЕКСЕЕВ**, канд. техн. наук, доцент, [zavkafoabd@smpi.ru](mailto:zavkafoabd@smpi.ru)

**В.А.ЯНЧЕЛЕНКО**, канд. техн. наук, доцент, [yanchelenko@yandex.ru](mailto:yanchelenko@yandex.ru)

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

**V.A.ALEKSEEV**, Phd in eng. sc., associate professor, [zavkafoabd@smpi.ru](mailto:zavkafoabd@smpi.ru)

**V.A.YANCHELENKO**, Phd in eng. sc., associate professor, [yanchelenko@yandex.ru](mailto:yanchelenko@yandex.ru)

National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

### **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В РЕШЕНИЯХ ТРУДНОФОРМАЛИЗУЕМЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ**

Рассмотрены вопросы создания интеллектуальной системы управления автомобилями, работающими в транспортно-технологических системах перевозок горной массы на открытых горных работах. Целью является совершенствование диспетчеризации, снижение расходов топлива и улучшение экологических показателей. Выполнено планирование многофакторных измерений и вычислена математическая модель перевозочного процесса. Сформирована база знаний экспертной системы.

**Ключевые слова:** экспертная система, факторное планирование, математическая логика.

### **MATHEMATICAL METHODS FOR SOLVING DIFFICULT-TO-FORMALISE INTELLIGENT TRUCK TRANSPORTATION PROBLEMS IN STRIP MINING AREAS**

Issues of creating a smart driving system for trucks operating in mined rock transportation and technological systems in strip mining areas have been considered. The aim is to improve handling of traffic, reduce fuel consumption and enhance environmental indices. Planning of the multivariable measuring is executed. The mathematical model of process of transportation of loads is calculated. The base of knowledge of consulting model is formed.

**Key words:** expert system, factorial planning, mathematical logic.

Практическая разработка методов качественных решений трудноформализуемых интеллектуальных задач определяет дальнейший прогресс в автомобильных перевозках. К этим задачам относятся следующие:

- обеспечение безопасных и экономичных автомобильных перевозок грузов на открытых горных работах на горно-добывающих предприятиях;

- выполнение беспилотных (автономных) автомобильных поездок в городах в сложных условиях дорожного движения, с обеспечением высокой безопасности, экономичности и улучшения экологических показателей;

- качественная диспетчеризация автомобильного подвижного состава при перевозках горной массы на горно-добывающих предприятиях, дальних и городских перевозках;

- автономная парковка автомобилей, управление расходами топлива и многие другие.

Решение указанных задач достигается внедрением в автотранспортное производство новых научно-технических продуктов – интеллектуальных машин управления. Эти устройства включают в себя три компонента (блока):

- экспертную систему (мыслящее устройство), выполняющую роль человека-эксперта в данной предметной области, выдающую команды в режиме реального времени;

- приводные устройства, реализующие команды экспертной системы по управлению автомобилем;

- блок связи экспертной системы в режиме реального времени с окружающей средой (навигаторы ГЛОНАСС/GPS, локаторы, датчики сенсорные, давления в шинах, расходов топлив, дождя, интернет и другие), систем связи, управления и экстренного реагирования с бортовыми компьютерами и пунктами диспетчерского управления;

Главный компонент интеллектуальных машин управления – это экспертные системы. Их ядра, их «мозг» – это кибернетические интеллектуальные системы, в которых имеются информационное обеспечение решаемых задач, установлены семантические (смысловые) связи и действуют механизмы логического вывода. Базой и основой экспертных систем являются математические методы решений, что повышает практическую значимость этих методов в современных условиях автотранспортного производства.

Главной особенностью экспертных систем является использование в программах математической логики, позволяющей решать задачи естественным образом с помощью символических рассуждений – имитировать рассуждения человека-эксперта в данной предметной области. Используются в расчетах кибернетические методы (технологии «черного ящика»), методы факторного планирования и корреляционно-регрессионного анализа.

В программах манипуляций с базами данных используются методы линейного программирования и теории массового обслуживания. При формировании семантических сетей и баз знаний используются методы нечеткой логики (коэффициентов уверенности) и байесовский метод.

Качественная экспертная система должна отвечать следующим требованиям:

- обладать компетентностью и иметь в конкретной предметной области тот же уровень профессионализма как у человека-эксперта;

- быстро и эффективно применять знания для получения решений, используя приемы и ухищрения, какие применяют люди-эксперты;

- с помощью символов представлять понятия в своей узкой предметной области, применять различные стратегии в процессе манипулирования ими.

Создание экспертной системы – это длительная многомесячная работа, выполняемая группой специалистов, включающей экспертов в данной предметной области, инженера, специалистов по информационным технологиям, программистов.

Рассмотрим пример разработки экспертной системы.

Добывающему предприятию требуется разработать для автосамосвалов, выполняющих перевозки горной массы, интеллектуальную экспертную систему, повышающую экономию расхода топлива за счет использования в эксплуатации оптимальных режимов работы автосамосвалов. Ограничениями являются следующие позиции: перевозки осуществляются по технологическим дорогам одной категории и одного класса по качеству

дорожной одежды; движение автосамосвалов в одном грузовом направлении с равномерно распределенной на шины полной нагрузкой; использование автосамосвалов одного типа.

Для определения оптимальных условий технологического процесса перевозок и вычисления математической модели в качестве независимых переменных с учетом указанных ограничений экспертами были выбраны шесть факторов влияния (см. таблицу). Параметром оптимизации является расход топлива. Интервалы варьирования значений факторов и значения базового уровня, выбранные экспертами, обозначены знаками «-», «+», «0».

Технологический процесс перевозки должен рассматриваться как кибернетическая система («черный ящик»). При этом необходим учет всего объема факторов влияния, которые должны отвечать трем условиям – некоррелированность, управляемость, однозначность.

При подготовке программы измерений необходимо соблюдать требования метода факторного планирования. Для шести факторов целесообразно использовать 1/4-реплику полных факторных измерений, что позволяет сократить их число с полных 64 до 16.

Следует проводить несколько повторных измерений в каждом отдельном опыте с оценкой надежности данных по критериям Фишера и Кохрена.

Матрица планирования экспериментальных измерений расходов топлива автосамосвалами при различных уровнях факторов влияния и расчетов коэффициентов уравнения регрессии (1/4-реплика) показана ниже:

Номера измерений (опытов)	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$y$
1	+	-	+	+	+	-	-	$y_1$
2	+	-	-	-	-	+	+	$y_2$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
16	+	+	-	+	+	-	-	$y_{16}$
$a_i$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	

По результатам измерений вычисляются коэффициенты уравнения регрессии, в которое, при необходимости, вводятся эффекты взаимодействия факторов  $a_k x_i x_n$ :

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_6 x_6 + \dots + a_k x_i x_n. \quad (1)$$

В зависимости (1) величины коэффициентов  $a_1, a_2, \dots, a_k$  устанавливают меру влияния факторов  $x_1, x_2, \dots, x_6$  на параметр оптимизации  $y$  (расход топлива).

Рассмотренные экспертные данные и правила (алгоритмы) манипуляций с ними позволяют сформировать базу данных и систему управления базой данных экспертной системы (СУБД). Далее разрабатывается база знаний экспертной системы. При этом используется продукционная модель представления знаний.

В общем виде продукционная модель имеет вид:

$$N; Q; P; A \rightarrow B; R, \quad (2)$$

где  $N$  – имя продукции;  $Q$  – сфера применения продукции;  $P$  – условие применения (значения «истина» или «ложно»);  $R$  – постусловие продукции;  $A \rightarrow B$  – запись продукционных правил;  $A$  – сложное условие;  $B$  – утверждение истинности нового факта, выводимого из  $A$ .

Находящаяся в СУБД информация (1), база продукционных правил или база знаний (2), рабочая память базы знаний, интерпретатор правил (решатель), реализующий механизм логического вывода, образуют продукционную экспертную систему.

В базе знаний рассматриваемой продукционной экспертной системы находятся несколько сотен продукционных правил, образующих семантическую сеть, имитирующую сознание человека. Вершины сети (информационные единицы) связаны семантическими (смысловыми) связями.

Интерпретатор (решатель) представляет собой программу, которая работает с базой данных и знаний. В программе используются объектно-ориентированные языки (С#). Интерпретатор имитирует рассуждения человека-эксперта в данной предметной области, строит цепочки логических рассуждений и осуществляет логический вывод (решает задачу).

Наиболее сложная часть деятельности интерпретатора – это управление логическим выводом. При этом могут использоваться цепочки прямого или обратного вывода. Все

**Факторы влияния, их базовые уровни и интервалы варьирования значений**

Код фактора	Содержание фактора	«←»	«0»	«→»
$x_1$	Давление в баллонах автосамосвалов, МПа	– 20 %	Согласно норме	+ 20 %
$x_2$	Стаж работы водителей	Менее 5 лет	5-10	Более 10 лет
$x_3$	Состояние шин автомобиля	Сильный износ	Средний износ	Новые шины
$x_4$	Скорость движения автомобиля, км/ч	– 10 %	Согласно норме	+ 10 %
$x_5$	Техническое состояние топливной аппаратуры и двигателя	Плохое	Удовлетворительное	Хорошее
$x_6$	Погодные условия	Снег, гололед	Мокрая дорога	Сухая, чистая дорога

множество продукционных правил и данных в базе знаний экспертной системы хранится в виде древовидной структуры, называемой И-ИЛИ-графом. Существует несколько стратегий управления логическим выводом – поиск в глубину, в ширину и другие.

Рассматриваемая экспертная система работает следующим образом. Из внешней среды в базу знаний системы в режиме реального времени поступают данные. Интерпретатор убеждается, что содержащиеся в правилах факты имеют место в действительности. Происходит стимуляция узла семантической сети, образуемой продукци-

онными правилами. Активизируются связи этого узла с другими узлами, активность распространяется по всей семантической сети. Решение получается в результате логического вывода.

Информация по решению поступает на бортовые компьютеры и пункты диспетчерского управления. Управляющие команды от экспертной системы поступают в блок реализации команд. При наличии в интеллектуальной машине управления компоненты, реализующей управляющие команды, автосамосвал автономно переводится на экономичный режим работы.