

УДК 622.333

**А.А. Григорьева, П.В. Бурков, А.А. Захарова,
В.П. Бурков**

**МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ
ОЧИСТНЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ
НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ**

Создание машиностроительного комплекса по производству угледобывающего оборудования и внедрение его на шахтах Кузбасса

В настоящее время топливно-энергетический комплекс РФ является важнейшей основой экономической и социальной стабилизации государства. В соответствии с проектом «Основных положений энергетической стратегии России» предусматривается последовательное увеличение доли угля в топливно-энергетическом балансе, что в свою очередь потребует увеличения объёмов его добычи до 380-450 млн т к 2020 году.

Основным угледобывающим регионом является Кузбасс. Кемеровская область обеспечивает свыше половины всей добыче каменных углей России и 84 % всей добычи углей коксующихся марок. Добыча подземным способом составляет около 50 % от общего объёма добычи угля. Для наращивания объёмов добычи угля и роста производительности труда необходимо применение на шахтах современных высокотехнологичных механизированных комплексов очистного оборудования, которые были бы конкурентоспособными с лучшими зарубежными аналогами.

Анализ уровня очистной техники, применяемой на шахтах США и других основных угледобывающих стран [1-5], позволяет сформулировать основные направления работ по созданию новой очистной техники на ближайшее будущее, а именно:

1. Создание семейства современных механизированных крепей с шагом установки до 2,0 м, обеспечивающих скорость крепления до 15 м/мин, в любых условиях по устойчивости кровли и по тяжести проявления горного давления, со сроком службы не менее 10 лет без капитального ремонта.

2. Создание семейства современных выемочных комбайнов на базе приводов резания с электродвигателями мощностью до 500 кВт, скоростью подачи до 15 м/мин, с системами управления, включающими диагностику, ресурсом 10 тыс. т/кВт установленной мощности двигателей приводов резания.

3. Создание комплексов современного транспортного оборудования, включая забойные конвейера для лав длиной до 250-350 м, перегружатели, дробилки и перегрузочные средства типа «Матильда», с производительностью до 1800 и 2500 т/час, с приводами мощностью до 500 кВт.

4. Разработка технологии и создание монтажно-доставочных средств для очистного оборудования.

Сегодня можно с уверенностью сказать, что опыт реформирования и реструктуризации угольной отрасли Кузбасса дал положительные результаты - в Кузбассе появилась и получила развитие собственная промышленная база по производству ГШО, в первую очередь за счёт перепрофилирования заводов ВПК в связи с конверсией, а на базе Юргинского машиностроительного завода (Юрмаша) по инициативе губернатора А. Г. Тулеева создан центр угольного машиностроения.

Для очистных механизированных комплексов завод выпускает полный набор оборудования, это: механизированные крепи, конвейеры лавные скребковые, перегружатели, дробилки, ленточные конвейеры, комбайны очистные «Кузбасс 500» с радиоуправлением, кабелеукладчики, силовое гидрооборудование любых типов, управляющую гидравлику, мягкую гидравлику и присоединительную арматуру.

Заводом изготовлено и успешно эксплуатируется угледобывающими предприятиями Кузбасса, Инты, Воркуты, Якутии, Сахалина, Дальнего Востока и других регионов России более 50 крепей, порядка 40 очистных комбайнов, более 40 конвейеров и перегружателей. Угледобыча на этом оборудовании составила более 200 млн. тонн угля.

Кроме того, Юргинский машиностроительный завод изготавливает: оборудование для открытых горных работ, (ковши для шагающих экскаваторов объемом 10, 11, 13, 15, 20 куб.м., гидромониторы и др.), а также оборудование для обогатительных фабрик (грохоты, отсадочные машины, питатели и др.).

В 2006 году общее количество бригад – миллионеров в Кузбассе составило 30, из них:

- 12 бригад, работающих на оборудовании производства Юргинского машиностроительного завода;
- 5 бригад на оборудовании «ДБТ»;
- 3 бригады на оборудовании «Джой»;
- 2 бригады на оборудовании «Глиник»;
- 2 бригады на оборудовании «Фазос»;
- 6 бригад на оборудовании других производителей.

Пятерка лучших бригад выглядит следующим образом:

- В шахтоуправлении «Котинское» на оборудовании ДБТ на 5 метровом пласту добыто 4098,4 тыс. т угля;
- На шахте им. Кирова на пласту 3,5 м добыто 2713,3 тыс. т угля;
- На шахте «Есаульская» на оборудовании Юрмаша на пласте мощностью 2,5 добыто 2321 тыс. т угля;
- На шахте «Распадская» на оборудовании Крангормаш и Юрмаша на 4-х метровом пласту добыто 2007,6 тыс. т угля
- На шахте «Ульяновская» на оборудовании Юрмаша на пласте 2,7 метров добыто 1940 тыс. т угля.

Исходя из вынимаемой мощности 2,5-2,7 м (на оборудовании производства Юрмаш) в сравнении с 5 метровым пластом (на оборудовании ДБТ) видно, что показатели добычи на оборудовании ДБТ, Джой и Юрмаша соизмеримы.

Переход угледобывающих предприятий на работу по принципу «шахта-лава» и необходимость обеспечения среднесуточной добычи не менее 10-15 тыс. т угля, и

ряд других факторов требуют выпуска и применения горношахтного оборудования (ГШО) нового технического уровня, обладающего как высокой производительностью, так и, в первую очередь, высокой надёжностью и безопасностью.

Исходя из этих задач, на заводе проводится глубокая модернизация выпускаемого оборудования, и, начиная, с 2006 года завод перешёл на выпуск изделий ГШО нового поколения, соответствующего мировому уровню.

Предпосылки к разработке системы поддержки принятия решений о конкурентоспособности горношахтного оборудования

Для того чтобы выйти на рынок с изделиями высокого качества машиностроительным предприятиям необходимо оценивать конкурентоспособность продукции на всех этапах ее жизненного цикла. Задача определения конкурентоспособности является многокритериальной и относится к классу слабоструктурированных задач, которые содержат как количественные, так и качественные элементы, причем малоизвестные и неопределенные стороны задачи имеют тенденцию доминировать. Модель данной задачи может быть построена на основе дополнительной информации, получаемой от лица, принимающего решение. При этом исключается возможность построения объективных моделей. В связи с этим можно сказать, что это будет не одна, а система моделей. Этот же вывод следует из динамической сущности задачи, т.к. разные модели будут применяться для получения оценок конкурентоспособности на всех этапах жизненного цикла изделий.

Актуальна задача создания системы поддержки принятия решений, позволяющей проводить оценку воз-

можных альтернатив на основе знаний экспертов на любом этапе определения конкурентоспособности. Разрабатываемую систему следует рассматривать только как генератор списка возможных действий в процессе реализации маркетинговой и инновационной стратегии, т.е. как систему подсказок для лиц, принимающих решения.

Математическая модель на основе теории нечетких множеств

В связи с тем, что на практике очень трудно получить полную и достоверную информацию от заказчика и зачастую сложно уяснить, что следует понимать под наилучшей альтернативой в конкретной задаче принятия решения о конкурентоспособности продукции, то можно использовать нечеткую математику и, следовательно, строить нечеткие модели. С помощью таких моделей, более близких к реальному состоянию, лицо ответственное за принятие решений, сможет прийти к выбору и решениям, более точно отвечающим его собственным намерениям. Кроме того, использование теории нечетких множеств позволяет обеспечивать общение с пользователем с помощью вербальных категорий.

Для оценки конкурентоспособности семи видов очистных механизированных комплексов используется лингвистическая переменная β - «конкурентоспособность» с множеством базовых значений $T = \{\text{«низкая»}, \text{«средняя»}, \text{«высокая»}\}$; базовое множество $X = \{K_1, K_2, K_3, \dots, K_7\}$, где K_i - модель механизированного комплекса. Исследуются очистные механизированные комплексы, выпускаемые Юргинским машиностроительным заводом и их зарубежные аналоги:

K_1 - ДБТ; K_2 - Джой; K_3 - Джой-1; K_4 - Джой-2; K_5 - КМ138/2; K_6 - ЗКМ138; K_7 - К-500Ю (ЮМЗ). Терм

«низкая» характеризуется нечеткой переменной (низкая, X, \tilde{C}).

Требуется построить функцию принадлежности μ_c нечеткого множества \tilde{C} , описывающего терм «низкая».

Воспользуемся определением нечеткого множества. Пусть X - произвольное непустое множество. Нечетким подмножеством \tilde{A} множества X называется множество пар:

$$\tilde{A} = \{(\mu_A(x)/x)\}, \text{ где } x \in X, \mu_A(x) \in [0; 1].$$

Функция $\mu_A : X \rightarrow [0; 1]$ называется функцией принадлежности нечеткого множества \tilde{A} , а X - базовым множеством или базовой шкалой. Для каждого конкретного значения $x \in X$ величина $\mu_A(x)$ принимает определенное значение из замкнутого интервала $[0; 1]$, которое называется степенью принадлежности элемента x нечеткому множеству \tilde{A} [6, 8].

Существует два класса методов построения функций принадлежности множества \tilde{A} : прямые и косвенные. Прямые методы несмотря на свою простоту имеют существенный недостаток: результаты экспертного опроса имеют некоторый «налет субъективизма». Косвенные методы преодолевают этот недостаток. Для решения нашей задачи воспользуемся методом попарных сравнений. Функция принадлежности μ_A определяется по матрице попарных сравнений $M = \|m_{ij}\|$, элементы которой m_{ij} представляют собой некоторые оценки интенсивности принадлежности элементов $x_i \in X$ нечеткому множеству \tilde{A} по сравнению с элементами $x_j \in X$. Понятия, которыми оперирует эксперт и интерпретация этих понятий значениями m_{ij} приведены в табл. 1.

Как следует из таблицы, для улучшения согласованности оценок пред

Интерпретация значений m_{ij}

Смысл	m_{ij}
$\mu(x_i)$ примерно равна $\mu(x_j)$	1
$\mu(x_i)$ намного больше $\mu(x_j)$	3
$\mu(x_i)$ больше $\mu(x_j)$	5
$\mu(x_i)$ заметно больше $\mu(x_j)$	7
$\mu(x_i)$ намного больше $\mu(x_j)$	9
Значения, промежуточные по степени между перечисленными	2, 4, 6, 8

полагается, что $m_{ij} \cdot m_{jk} = m_{ik}$, откуда $m_{ij} = 1$ для диагональных элементов и $m_{ij} = 1/m_{ji}$ для элементов, симметричных относительно главной диагонали. Значения функции принадлежности $\mu_A(x_1), \mu_A(x_2), \dots, \mu_A(x_n)$ в точках x_1, x_2, \dots, x_n определяются на основе решения задачи $M \cdot r = v_{max} \cdot r$, где $r = (r_1, r_2, \dots, r_n)$ - вектор длиной n ; v_{max} - максимальное собственное число матрицы M . Поскольку матрица M положительна по построению, решение данной задачи существует и является положительным. Окончательно получа-

$$\text{ем: } \mu_A(x_j) = 1 / \sum_{i=1}^n m_{ij}$$

Для облегчения работы экспертов и получения более точных оценок можно применить многокритериальный подход и оценивать очистные механизированные комплексы не в целом, а покритериально с помощью показателя «значимость технического решения» ($Z_{тр}$) [7]. Очистные механизированные комплексы были оценены следующим образом (табл. 2).

На основе значений $Z_{тр}$ экспертом была составлена матрица попарных сравнений (приведена в табл. 3).

Вычислим значения векторов r_i по

$$\text{формуле: } 1 / \sum_{j=1}^n m_{ij}$$

$$r_1 = 1/2,37 = 0,43; r_2 = 1/4,27 = 0,23;$$

$$r_3 = 1/7,14 = 0,14; r_4 = 1/13 = 0,08;$$

$$r_5 = 1/19,83 = 0,05; r_6 = 1/27,5 = 0,04;$$

Таблица 2

Модель очистного механизированного комплекса	$Z_{гр}$
ДБТ	226,8
Джой	286,2
Джой 1	84,03
Джой 2	156,9
КМ-138/2	25,13
ЗКМ-138	26,35
К-500 Ю	24,5

$r_7=1/36=0,03$, т.е.

$r_i=(0,43; 0,23; 0,14; 0,08; 0,05; 0,04; 0,03)$.

Оценим точность экспертного опроса. Для этого последовательно умножаем вектор r_i на каждый столбец матрицы парных сравнений M , получим вектор $r_j = M \cdot r_i$:

$r_j = (2,73; 1,79; 1,17; 0,70; 0,41; 0,26; 0,16)$.

Разделим вектор r_j на вектор r_i поэлементно, получим вектор:

$v_{max}=(6,35; 7,78; 8,36; 8,75; 8,2; 6,5; 5,33)$,

среднее значение вектора v_{max} из 7 полученных значений равно 7,32. Таким образом, отклонение или расчетная точность составляет:

$(7,32-7) \cdot 100/7 = 4,6\%$ и является удовлетворительной.

Нормализуем вектор r_i . Нормализация производится вычислением отношений между степенями принадлежности элементов $x \in X$ и величиной $\sup \mu_A(x)$. Для этого разделим его каждое значение на 0,43. Искомые степени принадлежности для 7 критериев составят:

$\mu_c = (1; 0,53; 0,33; 0,19; 0,12; 0,1;$

$0,07)$.

Аналогично находим функции принадлежности термов «высокая конкурентоспособность», «средняя конкурентоспособность».

В итоге имеем нечеткое множество \tilde{C} «низкая конкурентоспособность»:

$\tilde{C} = \{(1/24,5), (0,53/25,125),$

$(0,33/26,35), (0,19/84,025),$

$(0,12/156,9), (0,1/226,8),$

$(0,07/286,2)\}$. В более наглядной форме это представимо следующим образом:

$\tilde{C} = \{(1/К-500Ю (ЮМЗ)),$

$(0,53/ЗКМ138), (0,33/КМ138/2),$

$(0,19/Джой-1), (0,12/Джой-2),$

$(0,1/ДБТ), (0,07/Джой)\}$, т.е. 1 соответствует очистному механизированному комплексу с наименьшей конкурентоспособностью.

На базе данной модели была разработана компьютерная программа «Универсал», которая выполняет следующие функции:

- ввод альтернатив;
- ввод экспертных оценок критериев или альтернатив;
- расчет функции принадлежности;
- создание нечеткого множества.

Программа «Универсал» является составной частью программного обеспечения системы поддержки принятия решения о конкурентоспособности наукоемкой продукции и предназначена для сравнения альтернатив при многокритериальном подходе и в условиях неполноты и неточности

Таблица 3

$Z_{гр}$	24,5	25,13	26,35	84,03	156,9	226,8	286,2	Σm_{ij}
24,5	1	1/2	1/3	1/6	1/7	1/8	1/9	2,37
25,13	2	1	1/2	1/3	1/6	1/7	1/8	4,27
26,35	3	2	1	1/2	1/3	1/6	1/7	7,14
84,03	6	3	2	1	1/2	1/3	1/6	13,0
156,9	7	6	3	2	1	1/2	1/3	19,8
226,8	8	7	6	3	2	1	1/2	27,5
286,2	9	8	7	6	3	2	1	36,0

информации.

В заключении следует отметить, что данная модель применялись не только для оценки конкурентоспособности очистных механизированных комплексов, но и стреловых са-

моходных кранов, выпускаемых на Юргинском машиностроительном заводе. Были предложены рекомендации, улучшающие технико-экономические характеристики продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мышляев Б.К. Перспективные направления создания новой техники/ Б.К. Мышляев// Горный журнал. - 2003. - № 3. - С. 60-66.

2. Сысоев Н.И. Обоснование и выбор рациональных параметров механизмов связи шитовых механизированных крепей для тонких пластов/ Н.И. Сысоев, А.А. Аверкин// Горное оборудование и электромеханика. - 2007. - № 8. - С. 5-9.

3. Мышляев Б.К. Производство современной очистной техники – основа развития подземной добычи угля в РФ/ Б.К. Мышляев, С.В. Титов, И.В. Титов// Уголь. - 2007. - №1. - С. 11-15.

4. Таразанов И.В. Итоги работы угольной промышленности России за январь-март 2007 года/ И.В.Таразанов//Уголь. - 2007. - № 6 – С. 37-43.

5. Малышев Ю.Н. Развитие горнодобывающей индустрии – залог успешной работы экономики России/ Ю.П.Малышев // Горная промышленность.- № 1. – С. 70-75.

6. Григорьева А.А., Осипов Ю.М. Математические модели задачи определения конкурентоспособностью продукции. // "Автоматизация и современные технологии". М., 1999, № 4, С. 36-39.

7. Осипов Ю.М. Показатель "значимость технического решения" имитационной модели АСУ конкурентоспособностью продукции. // Автоматизация и современные технологии. М., 1994, №3, С.33 - 35.

8. Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, 1990, С. 77-85. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Григорьева А.А. – кандидат технических наук, доцент по кафедре Информационных систем, Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,

Бурков П.В. – кандидат технических наук, доцент, Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета, заведующий кафедрой горношахтного оборудования,

Захарова А.А. – зав.кафедрой информационных систем, Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,

Бурков В.П. – студент, Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета.

Рецензент д-р техн. наук, проф. В.Л. Петров.

