

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДСИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
ДОБЫЧИ УГЛЯ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Приведено схему процесу прийняття рішень та алгоритм моделювання системи нечіткого керування процесом видобутку вугілля при невизначеній інформації. Приведено функції приналежності, що характеризують процес прийняття рішень в підсистемі “керівництво шахти – група високонавантажених лав”. Розроблено схему нечіткого регулювання підсистеми “бригадир (диспетчер) – ланка гірників” у комбайновій лаві, показані переваги такої схеми. Розроблено методику визначення надійності підсистеми “ланка гірників – очисний комплекс” при нечітко заданих вихідних даних.

**SIMULATION OF CONTROL SUBSYSTEMS BY COAL MININGS
PROCESS IN CONDITIONS OF THE INDISTINCT INFORMATION**

The scheme of decision-making process and algorithm of simulation of a system of indistinct process control of a coal mining at the uncertainty information is adduced. The membership functions describing decision-making process in the subsystem “a management of mine - group of highloaded longwalls” are adduced. The scheme of indistinct regulation of the subsystem “the foreman (dispatcher) - link of the colliers” in a cutter-loader longwall face is designed, are rotined of advantage of such scheme. The methodic of definition of reliability of the subsystem “a link of the colliers - longwall set of equipment” at indistinct input datas is designed.

Добыча угля сопровождается непрерывным процессом принятия и реализации решений. Принятие решений при управлении процессом добычи угля происходит в многоуровневой иерархической системе, определяемой организационной структурой угольной шахты, включающей следующие основные подсистемы: «машинист – выемочный комбайн (струг)», «выемочный комбайн (струг) – угольный пласт», «крепильщик – механизированная крепь», «механизированная крепь – горный массив», «звено ГРОЗ – очистной комплекс», «бригадир (диспетчер) - звено ГРОЗ», «руководство угольной шахты - группа высоконагруженных лав». В такой системе часть информации является полной, достоверной и своевременной, т.е. в достаточной степени определенной, а часть носит неопределенный – нечеткий характер. При таком характере информации принятие единственно правильного решения основывается на опыте и интуиции лица принимающего решение (горнорабочего, бригадира, руководства шахты), т.е. на совокупности знаний и практически усвоенных навыков, умений, а отыскание решения задачи происходит при недостаточности логических оснований на принципе понимания сущности процесса. Таким образом, система управления добычей угля является комбинированной – одна подсистема, которой носит четкий - определенный характер, а вторая неопределенный – нечеткий (рис. 1а). Такого рода информация поступает при неполноте данных о состоянии массива горных пород, данных геологических прогнозов, о состоянии оборудования, текущей ситуации в забое; неопределенностью также обладает информация о состоянии самих горнорабочих. Но наиболее часто такая информация поступает при возникновении нештатной

(аварийной) ситуации. В такой ситуации роль второй подсистемы наиболее важна.

Изучению процессов и разработке алгоритмов нечеткого управления посвящены работы [1-4], применительно к процессами горного производства [5,6], однако проблема комплексной оценки эффективности работы подсистем нечеткого управления процессом добычи угля остается недостаточно изученной. Задача моделирования подсистем управления процессом добычи угля в условиях нечеткой информации является актуальной, имеющей важное значение для повышения надежности и безопасности угледобычи.

Общая схема процесса принятия решений в системе нечеткого управления процессом добычи угля приведена на рис. 1б. Характеристикой принимаемых решений для j -й подсистемы i -го уровня является функция их принадлежности к множеству допустимых, эффективных и скоординированных решений $\mu(x_{ij})$. Такая функция принадлежности определяется на множестве решений $X = \{x_{ij}\}$. Необходимо соблюдение условия : при принятии решений на уровне $i+1$ решение на уровне i считается принятым [4]. Эффективность решений задана в свою очередь как нечеткое подмножество с функцией принадлежности $\mu_{\text{Э}}(x_{ij})$, допустимость решений функцией принадлежности $\mu_{\text{Д}}(x_{ij})$, скоординированность $\mu_{\text{С}}(x_{ij})$. Результирующая функция принадлежности равна [4]: $\mu_{\text{Э} \cap \text{Д} \cap \text{С}}(x_{ij}) = \mu_{\text{Э}}(x_{ij}) \cap \mu_{\text{Д}}(x_{ij}) \cap \mu_{\text{С}}(x_{ij})$. Функция принадлежности решения для уровня $i+1$ равна

$$\mu(x_{i+1j}) = \mu(x_{ij}) \times \mu_{\text{Э}}(x_{i+1j}) \times \mu_{\text{Д}}(x_{i+1j}); \mu(x_{ij}) = \mu \left(\sum_{j=1}^m x_{ij} \right), \quad (1)$$

где m - число подсистем i -го уровня (число высоконагруженных лав, горнорабочих комплексной бригады).



Рис. 1 – Основные характеристики комбинированной системы управления процессом добычи угля (а) и схема процесса принятия решений в условиях неопределенной информации (б)

При прочих равных условиях работа подсистемы уровня $i + 1$ будет наиболее эффективной в случае, когда каждая подсистема j уровня i будет принимать оптимальные решения, максимизируя свою функцию принадлежности

$$\mu(x_{ij}) = \mu\left(\sum_{j=1}^m x_{ij}\right) = \max\left[\sum_{j=1}^m \mu(x_{ij})\right]. \quad (2)$$

Таким образом, процедура принятия решений сводится к следующим шагам [4]:

- решается задача оптимизации на уровне i по функции (2);
- находится нечеткое решение на уровне $i + 1$ согласно (1).

Алгоритм повторяется для всех n уровней системы нечеткого управления процессом добычи угля. Для четкого решения на уровне n степень принадлежности к подмножеству эффективных и допустимых решений является максимальной $\mu(x_n) = \max[\mu(x_n)]$.

Оценка эффективности работы высоконагруженных лав руководством шахты производится по нескольким критериям (безопасности, надежности, производительности) $K_i(x)$, обобщенная функция принадлежности оптимального решения будет иметь вид [4]: $\max(\mu[K_1(x), \dots, K_n(x)]) = \max(\mu[\mu_1(x), \dots, \mu_n(x)])$, при выполнении условия

$$\mu_i(x) = \frac{K(x) - K_{\min}(x)}{K_{\max}(x) - K_{\min}(x)},$$

где $K_{\min}(x)$, $K_{\max}(x)$ - минимальное и максимальное значение критерия, которые выбираются исходя из критических режимов, при которых работа подсистемы неэффективна.

Так для подсистемы «руководство шахты – группа высоконагруженных лав» главным критерием эффективности является достижение запланированного уровня добычи. Используя критерий максимальной производительности выемочного комбайна (q , т/мин), функция принадлежности эффективных режимов его работы будет иметь вид

$$\mu(q) = \frac{q - q_{\min}}{q_{\max} - q_{\min}}.$$

На основе предельной производительности комбайна q_n строится функция $\mu(q) = q / q_n$, которая может характеризовать достижение предела нагрузки на забой по газовому, человеческому фактору (биомеханическим и психофизическим характеристикам горнорабочих) и т.п. Функция принадлежности для допустимых режимов работы комбайна будет иметь вид $\mu_D(q) = 1 - \mu(q)$.

Построенный таким образом критерий $\mu_i(x)$ является показателем степени принадлежности определенного режима работы системы к подмножеству допустимых или эффективных режимов и изменяется на интервале $[0,1]$. Решение задачи будет $\mu_D(x) = \mu_1(x) \cap \dots \cap \mu_k(x)$.

Функции принадлежности для цели подсистемы «руководство шахты – группа высоконагруженных лав»: производительность очистного забоя Q должна быть близка к 1500 тонн/сутки; и для ограничения: производительность забоя должна быть больше 1000 тонн/сутки; могут быть записаны:

$$\mu_1(Q) = \frac{1}{1 + a(1500 - Q)^b}; \quad \mu_2(Q) = \begin{cases} \frac{1}{1 + a(Q - 1000)^b}; & \text{при } Q \geq 1000; \\ 0; & \text{при } Q < 1000. \end{cases}$$

где параметр $c=1500$ определяет максимум функции принадлежности; a – размах кривой; b – поведение границ кривой.

Такая функция представлена на рис. 2.

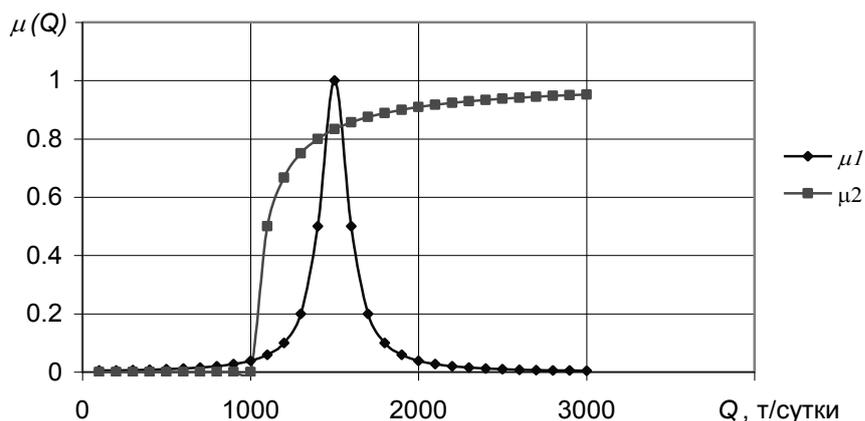


Рис. 2 - Функции принадлежности уровня добычи высоконагруженного забоя

Функция принадлежности для нечеткого решения в данном случае будет равна $\mu(Q) = \mu_1(Q) \wedge \mu_2(Q)$, а само решение выбирается из условия максимума функции принадлежности: $\max \mu(Q)$. Для приведенного примера решение равно $Q=1550$ т/сутки.

При случайном характере процесса целесообразно использовать вероятностный метод построения функций принадлежности. При известной вероятности перехода системы из штатного в нештатный (аварийный) режим $P(x - x_a)$ функция принадлежности может быть записана следующим образом $\mu(x_a) = 1 - P(x - x_a)$. В данном случае можно оперировать вероятностью безотказной работы $P_o^k = e^{-\frac{1}{t_n} T_{cm}}$ и восстановления комбайна $P_o^k = e^{-\frac{1}{t_e} T_{cm}}$ в течение смены продолжительностью T_{cm} в зависимости от среднего времени наработ-

ки на отказ t_n и восстановления t_g комбайна и вероятностью безошибочной работы машиниста $P_6^m = e^{-\frac{k}{K}}$, в зависимости от числа допущенных ошибок k и общего числа выполненных операций (решенных задач) K [7,8].

Функция принадлежности, основанная на переходе от функции изменения вероятности выполнения задачи на каждом уровне N системы управления процессом добычи угля, приведена на рис. 3 [9].

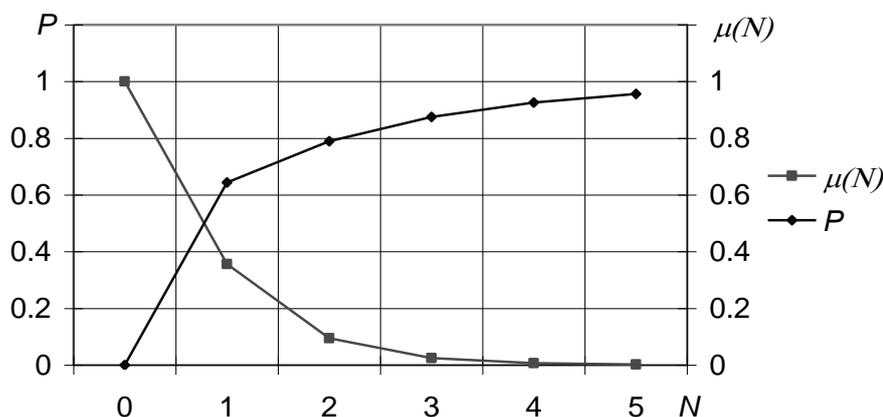


Рис. 3 – Пример функции принадлежности, основанной на функции изменения вероятности выполнения задачи на каждом уровне системы управления процессом добычи угля

Понятие «скорость подачи комбайна высокая» может быть описана следующей функцией принадлежности

$$\mu(v_n, a, b) = \begin{cases} 0, & \text{при } v_n \leq a; \\ 2(x-a)^2, & \text{при } a < v_n \leq \frac{a+b}{2}; \\ 1 - \frac{2(x-a)^2}{(b-a)^2}, & \text{при } \frac{a+b}{2} < v_n < b; \\ 1, & \text{при } v_n \geq b. \end{cases}$$

где a, b - границы интервала изменения скорости подачи v_n ,
либо экспоненциальной функцией принадлежности

$$\mu(v_n, a, b) = \frac{1}{1 + e^{-a(v_n - b)}}.$$

Функции принадлежности термина «скорость подачи высокая» при различной мощности пласта m с учетом ограничения по биомеханическим характеристикам машиниста, управляющего очистным комбайном, приведены на рис. 4 [10].

В качестве функции принадлежности может быть использована функция,

описывающая катастрофу типа сборки $y = x^3 + ax$ [4]. Согласно [11] такой функцией могут быть описаны уравнение состояния системы «уголь-газ», зависимость горного давления от концентрации сорбированного газа, зависимость скорости газовыделения до и после воздействия на пласт от глубины шпура, характера изменения во времени скорости смещения массива вокруг выработки в различных точках по глубине ее контура, изменение напряжения в краевой части пласта при выемке угля комбайном от расстояния от краевой части. И использоваться например диспетчером, начальником смены при принятии решения о характере протекания геомеханических процессов, процессах управления кровлей и т.п.

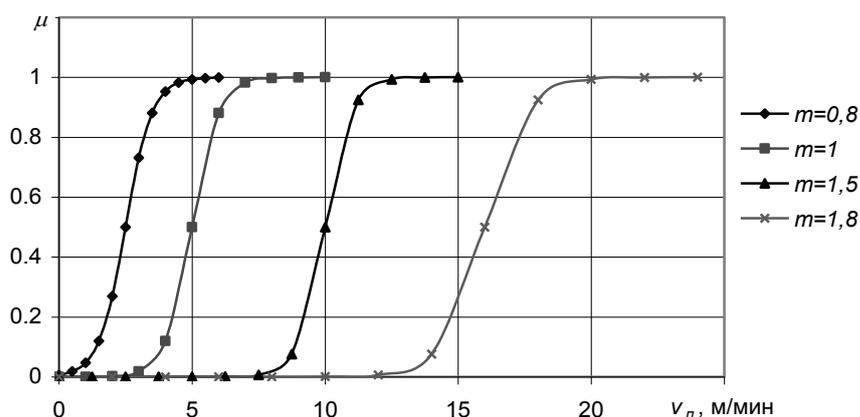


Рис. 4 – Пример функции принадлежности терма «скорость подачи высокая» для различной мощности пласта

Такой функцией также может быть описано информационное состояние горнорабочего: кривая будет характеризовать область «нормальной» работы человека (штатный режим) и попадание его в экстремальные условия (нештатная, аварийная ситуация) характеризующиеся повышенным потоком информации [11]. В данном случае функция может использоваться диспетчером для прогнозирования аварийной ситуации при повышенном потоке информации, поступающей к горнорабочим.

В случае наличия нескольких моделей, описывающих процесс принятия решений горнорабочими, в случае если решение по каждой из моделей задано нечетким множеством D_i , обобщенное решение D равно пересечению частных нечетких решений, для каждого из которых задана функция принадлежности $\mu_{D_i}(x)$ [4]: $D = D_1 \cap D_2 \cap \dots \cap D_n$. Такая функция принадлежности моделирует принятие решения машинистом комбайна (струга), аккумулирующего нечеткую информацию, поступающую от горнорабочих.

Исходные данные могут быть также нечеткими и задаваться функциями принадлежности. Если известно среднее значение параметра и интервалы его изменения (погрешности измерений), в данном случае можно пользоваться функцией принадлежности треугольного вида. Если известны средние значе-

ния и максимально допустимые погрешности измерений для допустимого множества значений целесообразно использовать экспоненциальную функцию принадлежности [4].

При нечеткой информации о текущем состоянии высоконагруженного забоя производительность может быть задана следующей функцией принадлежности

$$\mu(q,t) = \mu_{зф}(q,t) \wedge \mu_{зн}(q,t) \wedge \mu_n(q,t) \wedge \mu_ч(q,t) \wedge \mu_{эр}(q,t),$$

где $\mu_{зф}(q,t)$ - четкое ограничение на режим работы системы «машинист-выемочный комбайн» по газовому фактору; $\mu_{зн}(q,t)$ - четкое ограничение на режим работы системы «машинист-выемочный комбайн» по геомеханическим процессам; $\mu_n(q,t)$ - функция принадлежности, характеризующая вероятность отказа элементов очистного комплекса - нечеткое ограничение по фактору надежности; $\mu_ч(q,t)$ - функция принадлежности, характеризующая вероятность получения травмы и принятия неправильного решения со стороны горнорабочих - нечеткое ограничение по биомеханическим и психофизическим параметрам горнорабочих; $\mu_{эр}(q,t)$ - функция принадлежности, характеризующая степень принадлежности режима работы системы «машинист-выемочный комбайн» к множеству эффективных режимов.

На рис. 5 приведен график такой функции при следующих исходных данных: ограничение на производительность высоконагруженного забоя по газовому фактору $\mu_{зф}(q,t)$ - 5000 т/сутки, по геомеханическим процессам (условию обеспечения управления кровлей полным обрушением) – 1500 т/сутки, при нечетком ограничении по фактору надежности - 2500 т/сутки, нечетком ограничении по биомеханическим и психофизическим параметрам горнорабочих – 3000 т/сутки и обеспечении норматива нагрузки на забой – 3200 т/сутки.

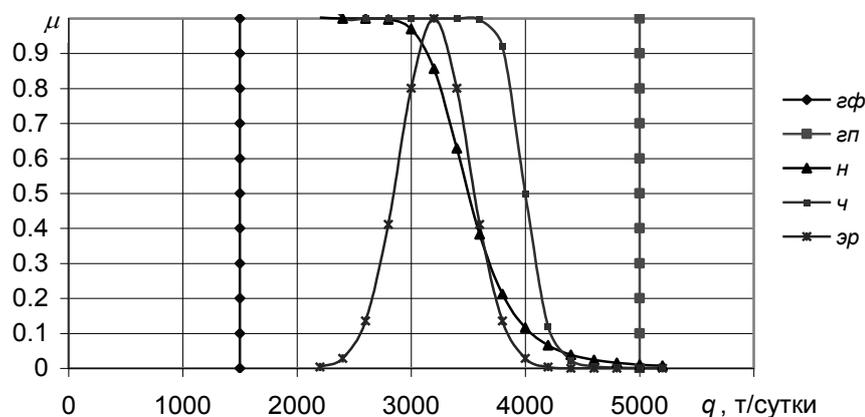


Рис. 5 – Функции принадлежности, характеризующие производительность высоконагруженного забоя

Функции принадлежности могут быть заданы исходя из известных алгоритмов нечеткого регулирования (алгоритмы нечеткого вывода Мамдани, Сугено, Ларсена и пр.) [2-4]. Схема нечеткого регулирования звена горнорабочих в комбайновой/струговой лаве (подсистема «бригадир (диспетчер) – звено ГРОЗ») может быть представлена следующим образом (рис. 6) [12].

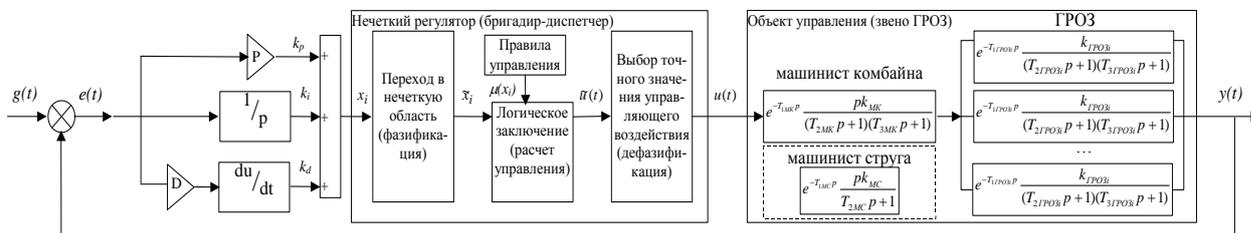


Рис. 6 - Схема нечеткого регулирования звена горнорабочих в комбайновой/струговой лаве

Пример функций принадлежности нечеткого регулятора (бригадир-диспетчера), использующего алгоритм нечеткого вывода Мамдани, оперирующего следующим стандартным набором термов: отрицательное (N); нулевое (Z); положительное (P); малое (S); среднее (M); большое (B), приведен на рис. 7.

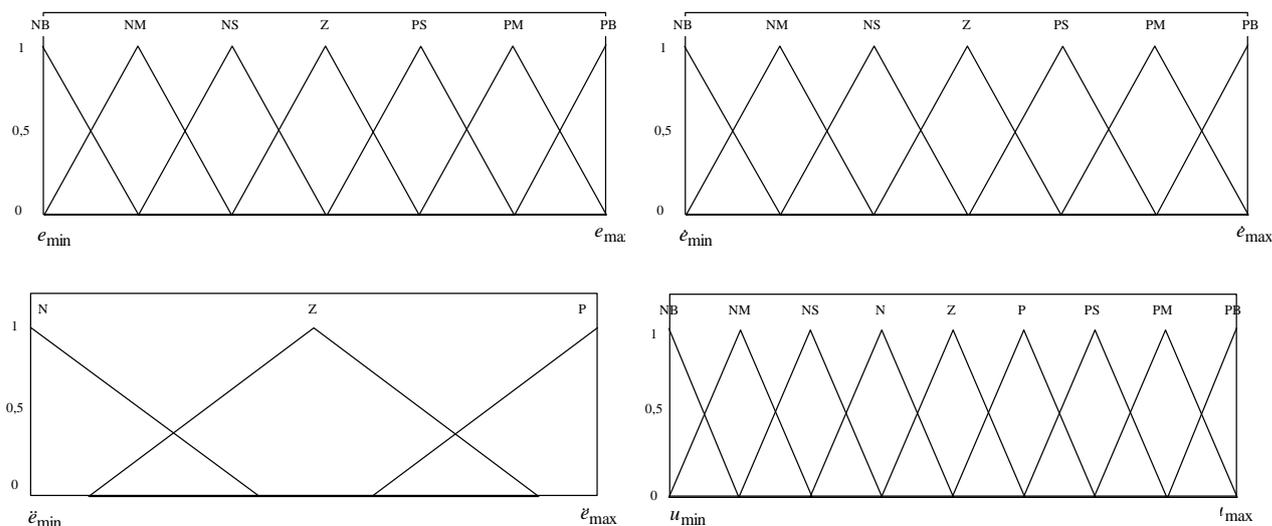
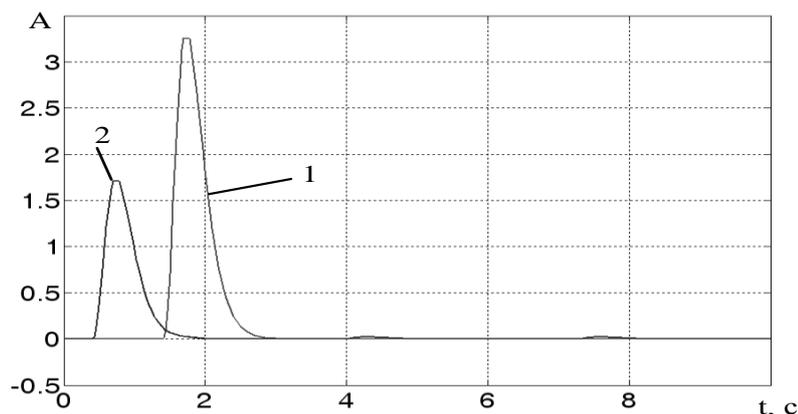


Рис. 7 - Функции принадлежности входных и выходной величин нечеткого регулятора

В данном случае важным является формирование базы правил нечеткого вывода и определение диапазонов параметров функций принадлежности: ошибки $[e_{\min}, e_{\max}]$, скорости ее изменения $[\dot{e}_{\min}, \dot{e}_{\max}]$, ускорения $[\ddot{e}_{\min}, \ddot{e}_{\max}]$ и выходного параметра: времени принятия правильного решения бригадиром-диспетчером $[u_{\min}, u_{\max}]$.

На рис. 8 приведен пример переходных процессов системы «машинист – звено ГРОЗ» в комбайновой лаве без применения и с применением нечеткого регулирования. Данные свидетельствуют о существенном преимуществе схемы с нечетким регулированием со стороны бригадира-диспетчера: переход-

ной процесс при принятии и реализации решения характеризуется меньшим перерегулированием, меньшим временем нарастания и общим временем регулирования, все это повышает надежность и безопасность процесса добычи угля. Следует отметить, что применение нечеткого управления целесообразно в тех случаях, когда исходные данные заданы нечетко. Учитывая специфику протекания процессов добычи угля направление дальнейших исследований должно предусматривать разработку алгоритма комбинированного управления процессом добычи угля - традиционного управления и управления, основанного на нечеткой логике.



1 – без регулирования; 2 – с нечетким регулированием

Рис. 8 - Функции переходных процессов системы «машинист – звено ГРОЗ» в комбайновой лаве

Разработана методика оценки надежности системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс», учитывающая нечеткий характер исходных данных о состоянии оборудования, горно-геологических условиях, технологических, горно-технических и параметрах горнорабочих. Нечеткие лингвистические переменные и термы, характеризующие надежность системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» в процессе добычи угля, приведены в табл. 1.

База правил, характеризующая состояние оборудования, представлена следующими правилами нечеткого ввода:

- 1: $I_1^{6K} \vee I_1^{CK} \vee I_1^{MK} \vee C_3^{6K} \vee C_3^{CK} \vee C_3^{MK} \vee H_1 \supset t_{p1}$;
- 2: $I_2^{6K} \vee I_2^{CK} \vee I_2^{MK} \vee C_2^{6K} \vee C_2^{CK} \vee C_2^{MK} \vee H_2 \supset t_{p2}$;
- 3: $I_2^{6K} \vee I_2^{CK} \vee I_2^{MK} \vee C_2^{6K} \vee C_2^{CK} \vee C_2^{MK} \vee H_3 \supset t_{p2}$;
- 4: $I_3^{6K} \vee I_3^{CK} \vee I_3^{MK} \vee C_1^{6K} \vee C_1^{CK} \vee C_1^{MK} \vee H_4 \supset t_{p3}$; 5: $\Phi K_1^i \wedge L_3 \wedge v_{n3} \wedge m_1 \supset t_{p1}$;
- 6: $\Phi K_2^i \wedge L_2 \wedge v_{n2} \wedge m_2 \supset t_{p2}$; 7: $\Phi K_3^i \wedge L_3 \wedge v_{n3} \wedge m_3 \supset t_{p2}$;
- 8: $O_1^i \wedge НП_3 \wedge S_{\partial 2} \wedge BO_2 \wedge q_2 \supset t_{p1}$; 9: $O_2^i \wedge НП_2 \wedge S_{\partial 1} \wedge BO_1 \wedge q_1 \supset t_{p2}$;
- 10: $O_3^i \wedge НП_1 \wedge S_{\partial 1} \wedge BO_1 \wedge q_1 \supset t_{p3}$; 11: $K_1^i \wedge O_1^i \supset t_{e1}$; 12: $K_2^i \wedge O_2^i \supset t_{e2}$;

$$13. K_3^i \wedge O_3^i \supset t_{\epsilon 3}.$$

Таблица 1 – Основные лингвистические переменные и термы, характеризующие надежность системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс»

Лингвистическая переменная	Значения термов (обозначение)
Параметры, характеризующие состояние оборудования	
Степень износа резцов выемочного комбайна (струга), рештаков и цепи скребкового конвейера, элементов механизированной крепи	Малая ($I_1^{6K}, I_1^{CK}, I_1^{MK}$), средняя ($I_2^{6K}, I_2^{CK}, I_2^{MK}$), большая ($I_3^{6K}, I_3^{CK}, I_3^{MK}$)
Состояние электродвигателя выемочного комбайна (струга), забойного конвейера, гидросистемы механизированной крепи	Удовлетворительное ($C_1^{6K}, C_1^{CK}, C_1^{MK}$), хорошее ($C_2^{6K}, C_2^{CK}, C_2^{MK}$), отличное ($C_3^{6K}, C_3^{CK}, C_3^{MK}$)
Горнотехнические, технологические и горно-геологические параметры	
Длина лавы	Малая ($L_1 < 120$ м), средняя ($120 \text{ м} < L_2 < 300$ м), большая ($L_3 > 300$ м)
Скорость подачи комбайна	Низкая ($v_{n1} < 3$ м/мин), средняя ($3 \text{ м/мин} < v_{n2} < 10$ м/мин), высокая ($v_{n3} > 10$ м/мин)
Вынимаемая мощность пласта	Весьма тонкий ($m_1 < 0,9$ м), тонкий ($0,9 \text{ м} < m_2 < 1,4$ м), средней мощности ($1,4 \text{ м} < m_3 < 1,8$ м), мощный ($m_4 > 1,8$ м)
Тяжесть кровли	Тяжелая (T_1), легкая (T_2)
Нарушенность пласта	Слабонарушенный ($НП_1$), средненарушенный ($НП_2$), сильнонарушенный ($НП_3$)
Нарушения	Легкопереходимые (H_1), труднопереходимые (H_2), частично переходимые (H_3), непереходимые (H_4)
Устойчивость нижних слоев кровли	Устойчивая ($S_{\partial 1} > 10 \text{ м}^2$), неустойчивая ($S_{\partial 2} < 10 \text{ м}^2$)
Выбросоопасность пласта	Не склонный к выбросам (BO_1), склонный к выбросам (BO_2)
Газобильность пласта	Негазобильный ($q_1 < 10 \text{ м}^3/\text{т}$), газобильный ($q_2 > 10 \text{ м}^3/\text{т}$)
Параметры (характеристики) горнорабочих	
Физические кондиции	Низкие (ΦK_1^i), средние (ΦK_2^i), высокие (ΦK_3^i)
Опыт	Малый (O_1^i), средний (O_2^i), большой (O_3^i)
Квалификация	Низкая (K_1^i), средняя (K_2^i), высокая (K_3^i)
Выходные параметры	
Время наработки на отказ	Малое ($0 \text{ мин} < t_{p1} < 20$ мин), среднее ($10 \text{ мин} < t_{p2} < 40$ мин), большое ($t_{p3} > 30$ мин)
Время восстановления отказа	Малое ($0 \text{ мин} < t_{\epsilon 1} < 20$ мин), среднее ($10 \text{ мин} < t_{\epsilon 2} < 40$ мин), большое ($t_{\epsilon 3} > 30$ мин)

Правила, основанные на логических операциях нечеткой дизъюнкции и импликации, задают надежность оборудования (правила 1-4). Для сочетаний параметров горнорабочих с горнотехническими, технологическими и параметрами, характеризующими горно-геологические условия, база правил нечеткого вывода для времени наработки на отказ и времени восстановления задана правилами 5-13. Приведенные правила, основанные на нечеткой конъюнкции и импликации, задают надежность работы звена ГРОЗ при определенных сочетаниях технологических, горнотехнических и горно-геологических факторов и параметров ГРОЗ. Степень уверенности в правильности высказываний (вес правила) для всех правил принята равной 1.

Необходимо отметить, что применение систем нечетких продукций, позволяет менее строго относиться к противоречивости и полноте исходных правил, а присутствие совокупности правил, которая приводит в обычной ситуации к взаимно исключающим заключениям, в нечеткой продукционной системе не служит признаком ее противоречивости [3].

Предложенная нечеткая модель определения надежности системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» реализована в интерактивной среде MatLab с использованием пакета нечеткой логики Fuzzy Logic Toolbox [3]. При моделировании были использованы треугольные функции принадлежности входных и выходных переменных, в качестве алгоритма нечеткого вывода использовался алгоритм Мамдани. Границы переменных варьировались от 0 до 1, путем нормирования значений исходных параметров.

Примеры поверхностей нечеткого вывода для основных переменных модели приведены на рис. 9.

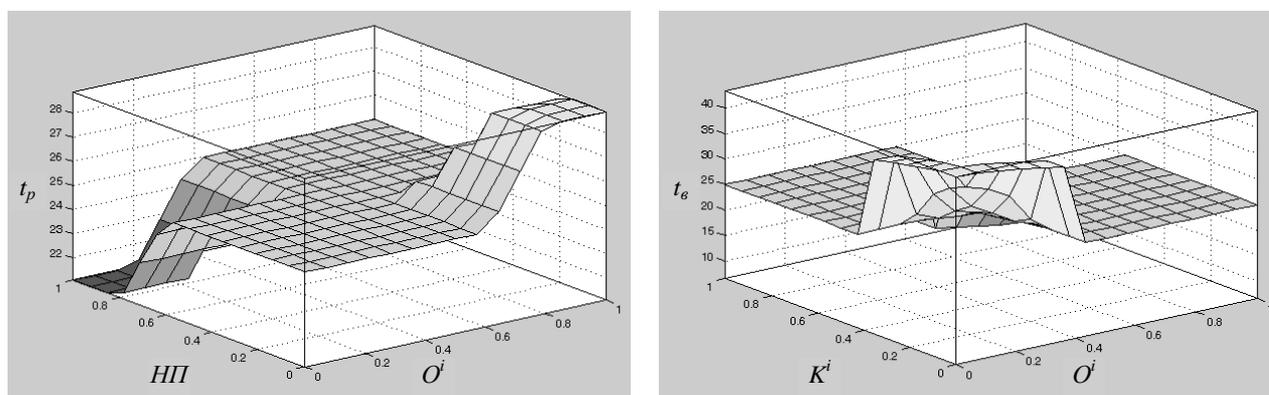


Рис. 9 – Примеры поверхностей нечеткого вывода для а) выходного параметра время наработки на отказ и входных параметров: нарушение пласта, опыт горнорабочих; б) выходного параметра время восстановления и входных параметров: квалификация, опыт горнорабочих

Примеры расчета коэффициента готовности k_2 системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» при варьировании нечетко заданных исходных данных приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Примеры расчета надежности системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс»

№	Нормированные значения исходных параметров														Выходные параметры		
	$I^{ЭК}$	$C^{ЭК}$	L	v_n	m	T	$НП$	H	S_δ	BO	q	ΦK^i	O^i	K^i	t_p	t_θ	k_z
1	0,20	0,91	0,04	0,96	0,93	0,15	0,75	0,33	0,82	0,86	0,93	0,99	0,12	0,34	29,30	39,40	0,43
2	0,61	0,57	0,51	0,36	0,49	0,66	0,33	0,72	0,31	0,36	0,38	0,45	0,54	0,64	19,90	30,00	0,40
3	0,91	0,93	0,91	0,85	0,91	0,91	0,91	0,91	0,96	0,91	0,91	0,93	0,99	0,93	20,20	11,68	0,63
4	0,64	0,64	0,64	0,09	0,04	0,80	0,17	0,17	0,20	0,57	0,17	0,09	0,20	0,04	20,20	47,40	0,30
5	0,36	0,41	0,28	0,26	0,28	0,53	0,28	1,00	0,93	0,78	0,86	0,28	0,64	0,74	21,30	28,80	0,43
6	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	20,00	30,00	0,40
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,90	48,50	0,29
8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	19,90	11,50	0,63
9	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	38,50	11,50	0,77

Примеры расчетов показывают, что наибольшая надежность наблюдается при сочетании параметров примера № 9, наименьшая примера № 7, что соответствует наилучшим и наихудшим оценкам износа и состояния элементов комплекса, горно-геологическим условиям разработки, параметрам горнорабочих.

Приведенные примеры показывают, что даже при учете небольшого числа нечетких параметров и нескольких нечетких заключений-правил с достаточной точностью может быть оценена надежность системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» как перед началом отработки лавы с заданными нечеткими исходными данными, так и непосредственно в процессе добычи угля. Таким образом, разработанная модель может быть использована при расчете надежности системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» при неопределенной - нечеткой информации.

Выводы.

1. Алгоритм принятия решений при нечетком управлении процессом добычи угля сводится к решению задачи оптимизации на уровне i - максимизации функции принадлежности решения к множеству допустимых, эффективных и скоординированных решений и нахождению нечеткого решения на уровне $i+1$. Для четкого решения на верхнем уровне степень принадлежности к подмножеству эффективных и допустимых решений является максимальной.

2. Определены функции принадлежности подсистемы «руководство шахты – группа высоконагруженных лав» для оценки эффективности работы подсистем нижних уровней:

- при случайном характере процесса функция принадлежности определяется вероятностью безотказной работы и восстановления элемента очистного комплекса в течение смены, безошибочной работы машиниста и зависимостью изменения вероятности решения задачи на каждом уровне системы управления процессом добычи угля;

- функция принадлежности терма «скорость подачи высокая» при различной мощности пласта описывается экспоненциальной зависимостью с учетом ограничения по биомеханическим характеристикам машиниста, управляющего очистным комбайном;

- моделирование решения машиниста комбайна (струга), аккумулирующего информацию, поступающую от горнорабочих, и принимающего на основа-

нии ее решение, равно пересечению частных нечетких решений горнорабочих, для каждого из которых задана своя функция принадлежности;

- при нечеткой информации о текущем состоянии **высоконагруженного** забоя производительность задается функцией принадлежности, учитывающей четкие ограничения на режим работы системы «машинист-выемочный комбайн» по газовому фактору; по геомеханическим процессам; функцией принадлежности, характеризующей возможность отказа элементов очистного комплекса - нечеткое ограничение по фактору надежности; функцией принадлежности, характеризующей возможность получения травмы и принятия неправильного решения со стороны горнорабочих - нечеткое ограничение по биомеханическим и психофизическим параметрам горнорабочих и функцией принадлежности, характеризующей степень принадлежности режима работы системы «машинист-выемочный комбайн» к множеству эффективных режимов.

3. Разработана схема-модель нечеткого регулирования в подсистеме «бригадир (диспетчер) - звено ГРОЗ». Анализ переходных процессов системы нечеткого регулирования звена горнорабочих в комбайновой лаве без применения и с применением нечеткого управления со стороны бригадира-диспетчера свидетельствуют о существенном преимуществе такой системы.

4. Разработана методика определения надежности системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс», основанная на нечеткой информации о состоянии оборудования, горно-геологических условиях, технологических, горнотехнических и параметрах горнорабочих: физических кондициях, опыте, квалификации. С помощью предложенной методики при учете небольшого числа нечетких параметров и нечетких заключений-правил с достаточной точностью может быть оценена надежность системы «звено ГРОЗ – очистной комплекс» как перед началом отработки лавы с заданными нечеткими исходными данными, так и непосредственно в процессе добычи угля. Учитывая специфику протекания процессов добычи угля направление дальнейших исследований должно предусматривать разработку алгоритма комбинированного управления процессом угледобычи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Заде Л.А. - М: Мир, 1976. - 165с.
2. Деменков Н.П. Нечеткое управление в технических системах: Учебное пособие / Деменков Н.П. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. - 200 с.
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / Леоненков А.В. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. -736 с.
4. Алтунин А.Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: монография / А.Е. Алтунин, М.В. Семухин. - Тюмень: Тюменский государственный университет, 2000. - 352 с.
5. Кузнецов Ю.Н. Структура нечеткой системы технологического картографирования отработки запасов выемочных участков угольных шахт / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Стадник // Горный информационно аналитический бюллетень. – 2008. - №2. - С. 233-238.
6. Кузнецов Ю.Н. Синтез технологических систем угольных шахт с учетом фактора неопределенности информации / Ю.Н. Кузнецов, М.Ю. Езерский // - Горный информационно аналитический бюллетень. - 2008. - № 6. – С. 5-7.
7. Хенли Э. Дж. Надежность технических систем и оценка риска / Э. Дж. Хенли, Х. Кумамото. - М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
8. Душков Б. А. Основы инженерной психологии / Душков Б.А., Ломов Б.Ф., Рубахин В.Ю.; под ред.

Б.Ф. Ломова. – М.: Высш. школа, 1986. – 448 с.

9. Шевченко В.Г. К анализу проблемы повышения надежности системы управления процессом выемки угля / Шевченко В.Г. // Вісник криворізького технічного університету. - Кривий Ріг: КТУ, 2008. – Вип.22. - С. 31-37.

10. Кияшко Ю.И. Анализ биомеханических характеристик машиниста комбайна в комплексно-механизированной лаве / Ю.И. Кияшко, В.Г. Шевченко // - Уголь Украины. – 2009. - № 3. - С. 30-34.

11. Присняков В.Ф. Катастрофа типа сборки в приложениях естественных и гуманитарных наук / В.Ф. Присняков, Л.М. Приснякова // Геотехническая механика. – 2004. - Вып. 48. – С. 87-102.

12. Шевченко В.Г. К моделированию качества управления процессом добычи угля в лавах / Шевченко В.Г. // Геотехническая механика. – 2008. - Вып. 77. – С. 227-241.

Рекомендовано до публікації д.т.н. Ю.І. Кіяшком 14.08.09