

УДК [331.4:622.271]:004.428.4

РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ В СРЕДЕ MATLAB FUZZY LOGIC TOOLBOX ДЛЯ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ТРУДА НА РАБОЧИХ МЕСТАХ РАБОТНИКОВ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Великанов В.С., Сафин Г.Г., Абдрахманов А.А., Шабанов А.А., Махмудова С.Н.,
Абдуллин Р.А., Тугузов А.С.

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, e-mail: rzhik_00@mail.ru

В статье выявлены вредные производственные факторы на рабочих местах операторов горных машин, занятых на открытой и подземной добыче полезных ископаемых, представлены методики по определению интегрального показателя условий труда. Реализована возможность практического использования возможностей нечеткого моделирования в среде MATLAB для оценки вредных условий труда на рабочих местах работников горной промышленности.

Ключевые слова: тяжесть труда, производственная среда, оператор, работоспособность, микроклимат, показатель, лингвистическая переменная

DEVELOPMENT OF FUZZY MODELS IN THE MATLAB FUZZY LOGIC TOOLBOX FOR ASSESSMENT OF WORKING CONDITIONS AT WORKPLACES OF WORKERS OF THE MINING INDUSTRY

Velikanov V.S., Safin G.G., Abdrakhmanov A.A., Shabanov A.A., Makhmudova S.N.,
Abdullin R.A., Tuguzov A.S.

Magnitogorsk State Technical University n.a. G.I. Nosov, Magnitogorsk, e-mail: rzhik_00@mail.ru

The article identified occupational hazards at the workplace operators mining machines employed in open pit and underground mining, presents the methodology to determine the integral indicator of working conditions. The possibility of practical use of the capabilities of fuzzy modeling in MATLAB to evaluate hazardous conditions at the workplace of workers of the mining industry.

Keywords: gravity, occupational environment, operator, availability, microclimate, metric, a linguistic variable

Условия труда как совокупность санитарно-гигиенических, психофизиологических элементов производственной среды оказывают непосредственное воздействие на здоровье и работоспособность человека. Наряду с производственными процессами и работами, характеризующимися относительным комфортом, есть еще и такие, где человеку приходится работать в неблагоприятных условиях.

Чтобы уменьшить воздействие вредных факторов производственной среды, необходима разработка комплекса мероприятий, позволяющих предотвратить резкое снижение работоспособности, возникновения профессиональных заболеваний и случаев производственного травматизма, с объективной оценкой влияния условий труда на человека. Наиболее полно характеризует это влияние категория тяжести работы, которая отражает совокупное воздействие всех элементов, составляющих условия труда, на работоспособность человека, его здоровье, жизнедеятельность. Понятие тяжести труда и напряженности одинаково применимо как к умственному, так и к физическому труду.

О степени тяжести труда можно судить по реакциям и изменениям в организме человека, которые служат показателями качества условий труда [1–3].

В табл. 1 приведены категории оценки условий труда на рабочих местах.

При определении интегрального показателя в расчет принимаются биологически значимые элементы условий труда, вызывающие пограничные и патологические изменения и реакции организма работающего. Интегральный показатель категории тяжести труда определяется по формуле

$$I_m(K_{\Sigma_{KT}}) = 10 \left[K_{on} + \left(L \frac{6 - K_{on}}{6} \right) \right], \quad (1)$$

где $I_m(K_{\Sigma_{KT}})$ – интегральный показатель категории тяжести труда; K_{on} – определяющий («ведущий», имеющий наибольший балл) элемент условий труда на рабочем месте; L – средняя арифметическая из суммы всех биологически значимых элементов условий труда, исключая определяющий.

Таблица 1

Категории оценки условий труда на рабочих местах по санитарно-гигиеническим факторам

Оценка факторов условий труда, баллы	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	Токсичные вещества (кратность превышения ПДК)	Промышленная пыль (кратность превышения ПДК)	Вибрация, уровень колебательной скорости (кратность превышения ПДУ)	Шум, уровень звука, дБА
1	18–20	40–54	<0,2	<0,8	<0,8	<1,0	<68
2	21–22	55..60	0,2–0,5	0,8–1,0	0,8–1,0	1,00–1,075	68–85
3	23–28	61..75	0,6–0,7	1,0–2,5	до 5	1,075–1,17	86–90
4	29–32	76..85	0,8–1,2	2,5–4,0	до 10	1,170–1,23	91–99
5	33–35	>85	1,3–1,7	4,0–6,0	до 50 (вкл.)	1,230–1,44	100–110
6	>35	–	>1,7	>6,0	>50	>1,440	>110

При работе операторов горных машин сочетаются виды деятельности различной степени тяжести и напряженности трудового процесса. В работе [4] произведена оценка показателей условий труда машинистов экскаваторов с учетом особенностей условий труда на постоянном рабочем месте в кабине экскаватора (табл. 2). Предлагаемая система оценок не является нормативной.

Категория тяжести труда машиниста экскаватора определяется в зависимости от величины интегральной количественной оценки U_T , которая рассчитывается по формуле

$$U_T = 19,7\bar{x}_j - 1,6\bar{x}^2, \quad (2)$$

где \bar{x} – средняя арифметическая балльная оценка единичных показателей, формирующих тяжесть труда.

$$x_j = \sum_{j=1}^n x_{j\sigma} k_{j\sigma} / n, \quad (3)$$

где $x_{j\sigma}$, $k_{j\sigma}$ – оценка в баллах и коэффициент весомости j -го биологически значимого показателя условий труда соответственно; n – число показателей. За биологически значимые показатели принимаем те, у которых произведение $x_{j\sigma} k_{j\sigma} \geq 1,5$.

По величине интегрального показателя условиям труда (работе) присваивается та или иная категория тяжести труда (табл. 3).

Таблица 2

Карта аттестации рабочего места машиниста экскаватора

Показатели	Оценка в баллах					
	1	2	3	4	5	6
Микроклимат: ППНМ, %	≤5	6–17	18–36	37–62	63–80	>80
Температура воздуха, °С:						
теплый	18–20	21–22	23–28	20–32	33–35	>35
холодный	20–22	17–19	15–16	7–14	–	–
Запыленность (кратность превышения ПДК)	<ПДК	ПДК	≤5	6–10	11–30	>30
Эквивалентный уровень звука, дБА	<75	75–80	81–85	86–95	>95	>95+ вибр
Освещенность забоя карьерных экскаваторов, лк	75	30	10	10	<5	<2

Таблица 3

Показатели условия труда

Интегрально количественная оценка	≤18	18–33	34–45	46–53	54–59	60
Индекс категорий тяжести труда	I	II	III	IV	V	VI

В работе [5] проведены исследования по оценке влияния вредных производственных факторов на профессиональную заболеваемость в угольной отрасли. Условия труда в угольных шахтах характеризуются целым рядом факторов, оказывающих вредное влияние на организм человека. К ним относятся: рудничная пыль, шум, вибрация, резкие перепады температур, повышенная влажность воздуха и другие. В угольной промышленности 61% рабочих мест по условиям труда не соответствуют санитарным нормам по одному или нескольким факторам. Отмечено превышение санитарных норм на рабочих местах по запыленности (58,4%), шуму (55,7%), вибрации (28,5%), влажности (14,9) и температуре воздуха (15,0%). Процедура установления профессионального заболевания сопряжена с большими техническими сложностями в случае, когда влияние вредного производственного фактора было продолжительным и не существует документальной возможности получить достоверную картину условий труда, подтверждающих производственную вред-

ность и степень ее влияния на организм работника.

Исследования по оценке состояния условий труда по степени вредности и опасности осуществлялись в соответствии с Руководством Р 2.2.755-99 на основе сопоставления результатов измерений вредных и опасных факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса с установленными для них гигиеническими нормативами (табл. 4). На базе таких сопоставлений сначала определялся класс условий труда для каждого фактора, затем для их комбинаций и сочетаний и далее устанавливалась общая гигиеническая оценка условий труда на данном рабочем месте. Для идентификации опасных и вредных факторов и оценки рисков возникновения профзаболеваний автором в работе [5] разработаны и предложены экспресс-методика оценки напряженности и тяжести трудового процесса, Каталог условий труда работников подземной группы угольных шахт и Каталог показателей значимости основных вредных и опасных производственных факторов.

Таблица 4

Опасные и вредные производственные факторы на рабочих местах в угольной отрасли

Наименование ВОПФ	Горнорабочий очистного забоя	Машинист выемочных машин (в очистном забое)	Горнорабочий подземный	Проходчик	Машинист выемочных машин (в проходческом забое)
Тяжесть трудового процесса	3.1–3.3	3.2	3.1–3.3	3.2–3.3	3.2–3.3
Микроклимат, С	3.1–3.3 18–26/10–16**	3.1–3.3 18–26/10–16	3.1–3.3 18–25/10–16	3.1–3.3 19–25/10–17	3.1–3.3 19–26/10–18
Искусственное освещение,лк	2–3.1 2–10/2–20	2 5/6–12	3.1–3.2 1–10/1–15	2–3.1 (2–5)/1–8	3.1 5–10/2–5
Шум (рассчитанный эквивалентный уровень), дБА	3.2 80/89–93	3.2 80/90–95	2–3.2 80/72–87	3.2 80/87–94	3.2 80/88–92
АПДФ, средне-сменная концентрация, мг/м ³	3.3–3.4 10/59,2–305,8	3.3–3.4 10/61,5–17,8	3.1–3.3 (4;6; 10)/2,5–32,9	3.3–3.4 (2;4; 10)/55,6–240,8	3.3–3.4 (2;4; 10)/52,3–162,6
Вибрация локальная, дБ	–	–	–	3.3 (112/112)/(118–121/118–120)	2 (112/112)/104–110/102–109)
Общий класс условий труда	3.4	3.3–3.4	3.3	3.3–3.4	3.3–3.4

*здесь и далее диапазон значений классов условий труда по данному фактору;

**в числителе приведен диапазон изменения классов условий труда по вредному производственному фактору; в знаменателе – значения ПДК(ПДУ) / фактический диапазон значений фактора.

Классы условий труда определяются исходя из гигиенических критериев, условия труда подразделяются на четыре класса: оптимальные, допустимые, вредные и опасные [3]:

- оптимальные условия труда (1 класс);
- допустимые условия труда (2 класс);
- вредные условия труда (3 класс) – характеризуются наличием вредных факторов, подразделяются на 4 подкласса;
- опасные (экстремальные) условия труда (4 класс) – характеризуются уровнями факторов рабочей среды, воздействие которых в течение рабочей смены (или ее части) создает угрозу для жизни, высокий риск развития острых профессиональных поражений, в т.ч. и тяжелых форм.

В представленных методиках оценка условий труда выполняется поэтапно.

На конкретном рабочем месте устанавливается перечень всех факторов формирующих условия труда.

По справочному приложению фактору присваивается соответствующий балл с учетом времени его воздействия.

Рассчитывается по формуле интегральная оценка элементов условий труда и определяется категория тяжести труда.

Определяется прогнозируемый рост работоспособности и производительности труда до и после внедрения мероприятий по улучшению условий труда.

Определяется динамика изменения производственного травматизма за счет внедрения мероприятий по улучшению условий труда.

Для упрощения процедуры по оценке показателей условий труда и влияния вредных факторов нами предлагается использование нечетко-множественного подхода, базирующегося на конкретных количественных и качественных характеристиках показателей, реально воздействующих на работника на конкретном рабочем месте (на примере ЭКГ) [6–10].

В соответствии с представленными в табл. 1, 2 санитарно-гигиеническими факторами за основу в разработке системы нечеткого вывода были определены – температура воздуха, влажность воздуха, скорость движения воздуха и уровень шума (звука). Разработка системы производилась в математической системе *MATLAB* с использованием *Fuzzy Logic Toolbox* (пакет нечеткой логики). Процесс построения функций принадлежности термов лингви-

стических переменных, характеризующих санитарно-гигиенические факторы, основан на их количественных значениях, определенных нормативной документацией. Нами использован алгоритм нечеткого вывода, предложенный английским математиком Е. Мамдани, который определен следующим образом:

1. Формирование базы правил систем нечеткого вывода.
2. Фаззификация входных переменных.
3. Агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций.
4. Активизация подзаключений в нечетких правилах продукций.
5. Аккумуляция заключений в нечетких правилах продукций.
6. Дефаззификация выходных переменных.

Для параметра «температура воздуха» лингвистическая переменная представлена в виде:

$$\xi_1 - \text{«температура»} = (\text{«оптимальная, средняя, высокая»} [18 - 38^\circ\text{C}], G, M),$$

где G – процедура образования новых термов с использованием связок «и», «или» модификаторов типа «очень», «не», «более» и других, а M – процедура задания на области определения $X = [18 - 38^\circ\text{C}]$ нечетких переменных; =«оптимальная», =«средняя», =«высокая», а также соответствующих нечетких множеств термов из G (T) в соответствии с порядком трансляции нечетких связок и модификаторов (рис. 1).

Вторая входная лингвистическая переменная «влажность воздуха» задается аналогично (рис. 2) и имеет вид

$$\xi_2 - \text{«влажность»} = (\text{«низкая, средняя, высокая»}, [30 - 100\%]).$$

Третья входная лингвистическая переменная «скорость движения воздуха» (рис. 3) формализуется в виде

$$\xi_3 - \text{«скорость движения воздуха»} = (\text{«малая, средняя, высокая»}, [0 - 2 \text{ м/с}]).$$

Четвертая входная лингвистическая переменная «уровень шума (звука) в кабине машиниста ЭКГ» (рис. 4) формализуется в виде:

$$\xi_4 - \text{«уровень шума»} = (\text{«малый, средний, высокий»}, [0 - 120 \text{ дБА}]).$$

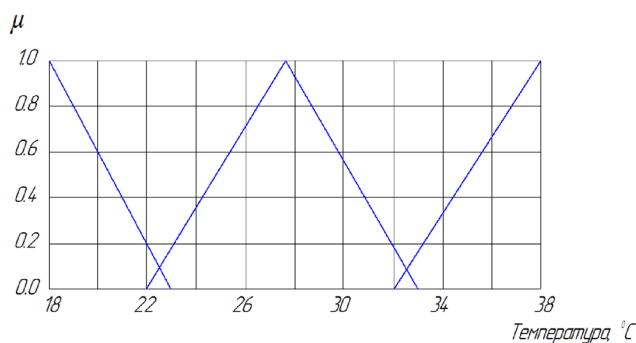


Рис. 1. График функций принадлежности соответствующих термов входной лингвистической переменной «температура воздуха»

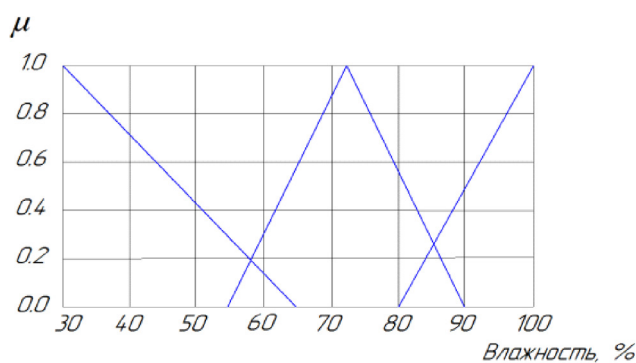


Рис. 2. График функций принадлежности соответствующих термов входной лингвистической переменной «влажность воздуха»

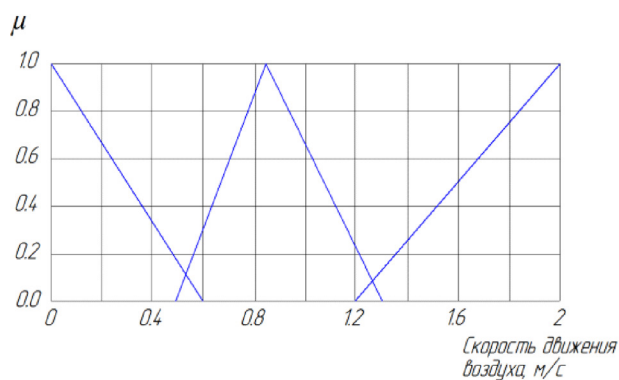


Рис. 3. График функций принадлежности соответствующих термов входной лингвистической переменной «скорость движения воздуха»

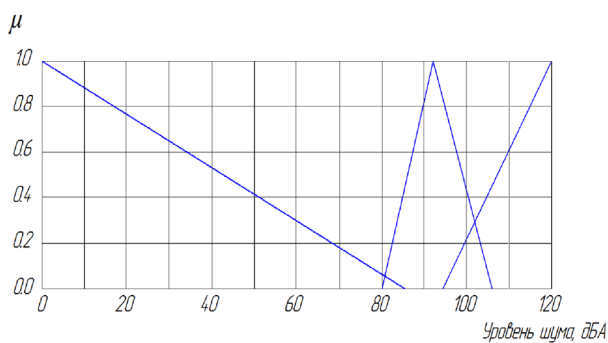


Рис. 4. График функций принадлежности соответствующих термов входной лингвистической переменной «уровень шума»

Для задания выходной лингвистической переменной необходимо дать следующее пояснение. На основе работ Всесоюзного научно-исследовательского института технической эстетики (ВНИИТЭ) установлена концепция структурной схемы эргономических показателей карьерных экскаваторов. Обитаемость на рабочем месте является одним из основных показателей, входящим в данную схему. Она характеризуется – запыленностью; уровнем шума; уровнем вибрации на сиденье машиниста; параметрами микроклимата; освещенностью забоя; санитарно-бытовым обеспечением и т.п.

Поэтому считаем целесообразным в качестве обобщенной характеристики по оценке состояния условий труда использование в качестве выходной лингвистической переменной – «обитаемость», которая может быть задана в виде

$$\omega = \langle \text{«обитаемость»} = (\langle \text{плохая, средняя, хорошая} \rangle, [0 - 100 \%]) \rangle.$$

Оценка адекватности построенной системы нечеткого вывода для определения уровня обитаемости в кабине машиниста экскаватора, для частного случая, когда текущая температура воздуха в кабине будет составлять 24 °С, влажность воздуха – 60 %, скорость движения воздуха равна 0,8 м/с и уровень шума равен 80 дБА. В результате процедуры нечеткого вывода значение выходной переменной «обитаемость» составит 56,4%. Полученное значение обитаемости говорит о средней комфортности работы машиниста в кабине экскаватора.

Вывод

Таким образом, в созданной модели упрощена процедура по оценке показателей условий труда и влияния вредных факторов на рабочих местах операторов горных машин. Использование в нечеткой модели действительных значений факторов, оказывающих вредное влияние на конкретном рабочем месте, позволит оперативно разработать и внедрить комплекс мероприятий по улучшению условий труда, а также сократить время при обеспечении сопоставимости результатам, полученным при проведении аттестации рабочих мест по условиям труда.

Список литературы

1. Эргономика: учеб. пособие для вузов / под общ. ред. В.В. Адамчука. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. – 254 с.
2. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов / под общ. ред. С.В. Белова. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1999. – 448 с.
3. Воронова В.М., Егель А.Э. Определение категории тяжести труда: Методические указания к дипломному проектированию. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 18 с.

4. Головин В.С. Эргономика горнорудного оборудования. – М.: Недра, 1990. – 183 с.

5. Фомин А.И. Методологические принципы управления риском профессиональных заболеваний на угольных шахтах Кемеровской области: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Кемерово: КузГТУ, 2008. – 41 с.

6. Великанов В.С. Использование нечеткой логики и теории нечетких множеств для управления эргономическими показателями качества карьерных экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Горная книга, 2010. – № 9. – С. 57-62.

7. Шабанов А.А., Великанов В.С. Разработка нечеткой системы управления функциональным комфортом на рабочем месте оператора горной машины // Промышленная безопасность и охрана труда: Сборник статей. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. – М.: Горная книга, 2012. – ОВ №6. – С. 64-70.

8. Великанов В.С. Разработка алгоритмов нечеткого моделирования для интеллектуальной поддержки принятия решений по определению уровня эргономичности карьерных экскаваторов // Горная промышленность. 2011. – № 5. – С. 64-70.

9. Великанов В.С., Шабанов А.А. Эргономическая экспертиза элементов системы «человек – карьерный экскаватор – среда» // Промышленная безопасность и охрана труда на предприятиях топливно-энергетического комплекса: Сборник статей. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. – М.: Горная книга, 2011. – ОВ №9. – С. 148-155.

10. Velikanov V.S. Evaluation and management ergonomic mining machines and complexes based on fuzzy-set approach // European Science and Technology: 4th International scientific conference. – Munich 2013. – pp. 370-377.

References

1. Bezopasnost zhiznedejatelnosti: Uchebnik dlya vuzov / pod obshch. red. S.V. Belova. 2-e izd., ispr. i dop. – M.: Vyssh. shk., 1999. – 448 p.
2. Voronova V.M., Egel A.E. Opredelenie kategorii tyazhesti truda: Metodicheskie ukazaniya k diplomnomu projektirovaniyu. – Orenburg: GOU OGU, 2004. – 18 p.
3. Velikanov V.S. Ispolzovanie nechetkoy logiki i teorii nechetkikh mnozhestv dlya upravleniya ergonomicheskimi pokazatelyami kachestva karernykh ekskavatorov // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten. – M.: Gornaya kniga, 2010. – № 9. – pp. 57-62.
4. Velikanov V.S., Shabanov A.A. Ergonomicheskaya ekspertiza elementov sistemy «chelovek – karernyy ekskavator – sreda» // Promyshlennaya bezopasnost i okhrana truda na predpriyatiyakh toplivno-energeticheskogo kompleksa: Sbornik statey. Otdelnyy vypusk Gornogo informatsionno-analiticheskogo byulletenya. – M.: Gornaya kniga, 2011. – ОВ №9. – pp. 148-155.
5. Golovin V.S. Ergonomika gornorudnogo oborudovaniya. – M.: Nedra, 1990. – 183 p.
6. Velikanov V.S. Razrabotka algoritmov nechetkogo modelirovaniya dlya intellektualnoy podderzhki prinyatiya resheniy po opredeleniyu urovnya ergonomichnosti karernykh ekskavatorov // Gornaya promyshlennost. 2011. – № 5. – pp. 64-70.
7. Fomin A.I. Metodologicheskie printsipy upravleniya riskom professionalnykh zabolevaniy na ugolnykh shakhtakh Kemerovskoy oblasti: Avtoref. dis. doktora tekhn. nauk. – Kemerovo: KuzGTU, 2008. – 41 p.
8. Shabanov A.A., Velikanov V.S. Razrabotka nechetkoy sistemy upravleniya funktsionalnym komfortom na rabochem meste operatora gornoy mashiny // Promyshlennaya bezopasnost i okhrana truda: Sbornik statey. Otdelnyy vypusk Gornogo informatsionno-analiticheskogo byulletenya. – M.: Gornaya kniga, 2012. – ОВ №6. – pp. 64-70.
9. Ergonomika: ucheb. posobie dlya vuzov / pod obshch. red. V.V. Adamchuka. – M.: YUNITI-DANA, 1999. – 254 p.
10. Velikanov V.S. Evaluation and management ergonomic mining machines and complexes based on fuzzy-set approach // European Science and Technology: 4th International scientific conference. – Munich, 2013. – pp. 370-377.