

**Денисова Н. А., Подлипенская Л. Е., Козачишен В. А.
Донбасский государственный технический университет
E-mail: natdeny@yandex.ru

КЛАССИФИКАЦИЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ НА БАЗЕ ДАННЫХ, ПОСТУПАЮЩИХ С ДАТЧИКОВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Исследования посвящены разработке подхода к оценке психофизиологического состояния человека-оператора на основе данных, поступающих в режиме реального времени с датчиков носимого индивидуального устройства. Предложено использовать в качестве математической модели метод нечеткого логического вывода. В работе предложен нечеткий классификатор, который на основе показателей датчиков носимого устройства генерирует оценку функционального состояния оператора, характеризующего его способность к выполнению рабочих функций.

Ключевые слова: психофизиологическое состояние, классификация, человек-оператор, носимое устройство, нечеткий логический вывод.

Финансирование: исследования выполнены за счет средств федерального бюджета по теме «Экспертная система обеспечения надежности металлургического оборудования с учетом психофизиологического состояния оператора в реальном времени» (код темы: FRRU-2023-0005 в ЕГИСУ НИОКРП).

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Профессионализм специалиста, участвующего в металлургическом производстве, является составной частью надежности сложной производственной системы, называемой «Человек — машина».

Несмотря на то, что предприятия металлургического комплекса с полным производственным циклом — это высокотехнологичные и инновационные производства, они не обходятся без главной составляющей — человека. Человеческий фактор является особой группой, оказывающей влияние на функционирование сложных технических систем (СТС).

Среди множества профессий, необходимых в металлургических производствах, особое место занимает профессия, которую принято называть «человек-оператор». В рамках данной статьи в сокращенном виде будет употребляться термин «оператор».

Согласно ГОСТ 12.0.03-2015, в процессе напряженной трудовой деятельности

оператор испытывает нервно-психические перегрузки, которые связаны с умственным перенапряжением, напряженностью слуховых, зрительных и прочих анализаторов, монотонностью внешних воздействий. Также большое влияние на психическую напряженность оператора оказывает уровень его профессиональной подготовки, степень владения необходимыми производственными компетенциями, опыт работы и др.

Психофизиологическое состояние (ПФС) — это совокупность трёх составляющих:

1. Внутренних психофизиологических условий.
2. Внешней среды, в том числе и социальной.
3. Факторов производственной деятельности.

Психофизиологическое состояние определяет уровень активности функций и систем организма, особенности жизнедеятельности и в большой мере влияет на работоспособность и поведение человека.

В последнее время на производственных предприятиях активно внедряются механизмы для мониторинга влияния человеческого фактора на устойчивость технологических систем и обеспечения безопасного производства. В основе таких систем лежит подход непрерывного слежения за состоянием оператора на основании показаний датчиков, снимающих данные о психофизиологической деятельности работника в режиме реального времени.

Наиболее распространенные в практике отечественных и зарубежных ученых методы диагностики работоспособности и утомления работников:

– физиологические методы: измерение частоты сердечных сокращений (ЧСС) и артериального давления (АД), кожно-гальванической реакции (КГР), показатели электроэнцефалографии (ЭЭГ), электрокардиографии (ЭКГ) и др. [1–2];

– психофизиологические методы, основанные на применении специальных тестов: оценка сложных сенсорно-моторных реакций (ССМР) и реакций на движущийся объект (РДО) [3]; методы корректурных проб [4]; оценка субъективного уровня утомления по шкалам: FAS [5], BFI «Краткий опросник утомления», RPE — шкала Борга и др. [2].

В настоящее время разработан ряд систем, которые оценивают степень готовности оператора к производственной деятельности как на основании отдельных показателей [6–8], так и комплексных оценок [9]. Для обработки данных регулярного контроля и формулирования итогового результата используются различные математические модели, такие как вероятностно-статистические, имитационные, экспертные и др.

В последнее время достаточно эффективно работают экспертные системы, построенные на моделях нечеткого логического вывода [6, 10].

Несмотря на большое количество работ, связанных с изучением человеческого фактора (ЧФ) и его влияния на безопасность функционирования системы «Человек — машина», остаются актуальными

направления исследования особенностей проявления ЧФ в конкретных производственных системах определенных отраслей народного хозяйства.

Постановка задачи. В Донбасском государственном техническом университете в течение ряда лет проводились исследования по созданию и внедрению на металлургическом производстве носимого устройства для определения психофизиологического состояния оператора [11–13]. На выходе устройства определялись отдельные показатели ПФС работника: показатели КГР, ЧСС, АД, температура окружающей среды и тела, данные акселерометра и GPS позиционирование работника на карте [13]. Для эффективного использования устройства необходимо в его программное обеспечение внедрить модуль по интегральной оценке психофизиологического состояния оператора с распознаванием критических состояний и соответствующими рекомендациями.

В связи с этим *целью* настоящей работы является разработка математической модели оценки ПФС оператора и усовершенствование на базе этой оценки классификации его функционального состояния.

Объект исследования — психофизиологическое состояние оператора металлургического оборудования.

Предмет исследования — оценка и классификация ПФС оператора металлургического оборудования на основе данных, поступающих с датчиков индивидуального устройства.

Методика исследования. «Функциональное состояние оператора — это комплекс наличных характеристик тех функций и качеств человека, которые прямо или косвенно обуславливают выполнение трудовой деятельности» [14]. Для определения психофизиологической оценки функционального состояния оператора выделяют две составляющие:

– *физиологическое состояние*, которое подлежит объективной регистрации и кон-

тролю при помощи показателей деятельности центральной нервной системы, сердечно-сосудистой, дыхательной и т. п.;

– *психическое состояние*, оцениваемое при помощи различных психометрических процедур, в том числе психологических тестов, характеризующихся значительной долей субъективности в оценках. Это такие показатели функциональной деятельности оператора, как утомляемость, работоспособность и др.

Как правило, показатели первой группы могут быть основаны на измерениях в режиме реального времени с помощью соответствующих датчиков. Они входят в блок показателей постоянного мониторинга работы технических устройств.

Показатели второй группы определяются периодически, преимущественно на основании атрибутивных характеристик операторов и результатов психологических тестов.

Функциональное состояние оператора в сложных условиях металлургического производства зависит не только от его личностных характеристик, но и в значительной мере от ситуации, которая скла-

дывается в текущих условиях функционирования реального производственного процесса. Поэтому оценка психофизиологического состояния оператора СТС является составной частью общей системы оценки надежности безопасного функционирования системы «Человек — машина».

На рисунке 1 представлена принципиальная схема экспертной системы (ЭС), которая оценивает безопасность функционирования металлургического оборудования с учетом психофизиологического состояния оператора на базе автоматизированной системы мониторинга. На схеме отдельными блоками выделены техническая компонента — блок О «Оборудование» — и блок Ч «Человеческий фактор». Поскольку для функционирования экспертной системы в реальном времени требуются не только текущие показатели с контрольных датчиков, но и ряд условно постоянных данных о производственных процессах, оборудовании, профессиональной подготовке работников и др., то в системе мониторинга предусмотрено два режима: «Периодический мониторинг» и «Постоянный мониторинг».

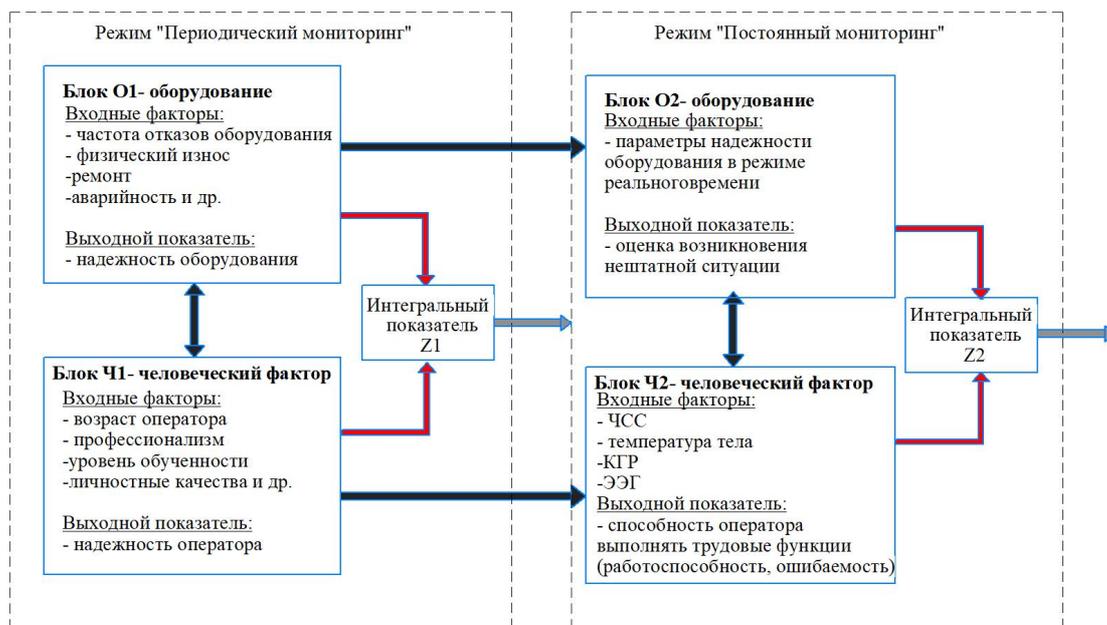


Рисунок 1 — Схема исследования надежности функционирования сложных технических систем металлургического оборудования с учетом человеческого фактора

МАШИНОСТРОЕНИЕ

В данном исследовании представлена часть общего исследования «Экспертная система обеспечения надежности металлургического оборудования с учетом психофизиологического состояния оператора в реальном времени» — разработка математической модели оценки психофизиологического состояния оператора (блок Ч, «Постоянный мониторинг»).

Данные о функциональных характеристиках оператора часто имеют размытый характер, а степень готовности его к работе определяется экспертами со значительной степенью неопределенности в выносимых суждениях. Поэтому для создания математической модели оценки и нечеткой классификации ПФС оператора в работе используются экспертные методы и методы, основанные на нечетких множествах. Нечеткий логический вывод выполняется на основе алгоритма Мамдани (Mamdani) [15].

Изложение материала. ПФС оператора в значительной мере влияет на такие его

рабочие характеристики, как утомляемость, работоспособность, ошибаемость и др.

Надежность функционирования предприятий черной металлургии определяется не только надежностью работы оборудования, но и психофизиологическим состоянием человека-оператора, им управляющего. В таблице 1 приведены характерные действия и умения операторов ряда профессий металлургического производства.

В процессе работы оператор может совершать ошибки, которые в условиях опасных металлургических производств приводят как к техническим поломкам, остановкам работы, авариям, так и к снижению уровня безопасности работников. На схеме (рис. 2) представлены этапы деятельности человека-оператора при выполнении той или иной технологической операции и его ошибки, которые возможны на каждом из пяти этапов [17].

Таблица 1

Характеристика основных профессий операторов в металлургическом производстве (по материалам [16])

Профессия/ Код профстандарта	Наименование вида проф. деятельности/ Группа занятий/ код ОКЗ	Некоторые трудовые действия и умения, характерные для деятельности в качестве человека-оператора
Оператор машины непрерывного литья заготовок/ 27.013	Управление машиной непрерывной разливки стали/ Операторы металлургических установок/8121	– визуальная и с использованием средств контрольно-измерительных приборов и аппаратуры (КИПиА), автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) оценка отклонения параметров текущего состояния оборудования и устройств от нормы; – проверка работы контрольно-измерительных и управляющих систем запорной арматуры, гидравлической системы, готовности газорезки, электропривода и систем энергообеспечения машины непрерывного литья заготовок; – контроль исправного состояния управляющей и контрольно-измерительной аппаратуры
Оператор поста управления стана холодной прокатки/ 27.005	Управление процессом получения листового проката/ Операторы металлургических установок/8121	– включение всех систем регулирования и контроля непрерывного стана холодной прокатки; – управление вспомогательными механизмами непрерывного стана (отгибатель, правильная машина, направляющие линейки, петлеобразующие устройства, натяжные ролики) при проводке переднего конца горячекатаного рулона в зев рабочих валков и моталку непрерывных станов холодной прокатки листового проката в рулонах

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Продолжение таблицы 1

Профессия/ Код профстандарта	Наименование вида проф. деятельности/ Группа занятий/ код ОКЗ	Некоторые трудовые действия и умения, характерные для деятельности в качестве человека-оператора
Оператор поста управления стана горячей прокатки/ 27.006	Управление технологическим процессом горячей прокатки/ Операторы технологических процессов производства металла/3135	– визуальная и с использованием средств КИПиА, АСУТП оценка состояния и отклонения от установленных значений параметров текущего состояния основного и вспомогательного оборудования, приводов, устройств и механизмов стана горячей прокатки; – интерактивная работа с АСУТП по регулируемым оператором поста управления параметрам технологического процесса, настройкам и режимам работы вспомогательного оборудования, машин и механизмов, относящимся к зоне ответственности работника, на обслуживаемом участке (участках) стана горячей прокатки; – осуществление управления манипуляторами, приемными и раскатными рольгангами, устройствами гидросбыва окалины, шлепперами стана горячей прокатки; – использование средств и инструментариев АСУТП, соответствующих ПО рабочего места оператора стана горячей прокатки на обслуживаемом участке; – интерактивная работа с АСУТП по регулируемым параметрам технологического процесса, настройкам и режимам работы оборудования, машин и механизмов стана горячей прокатки

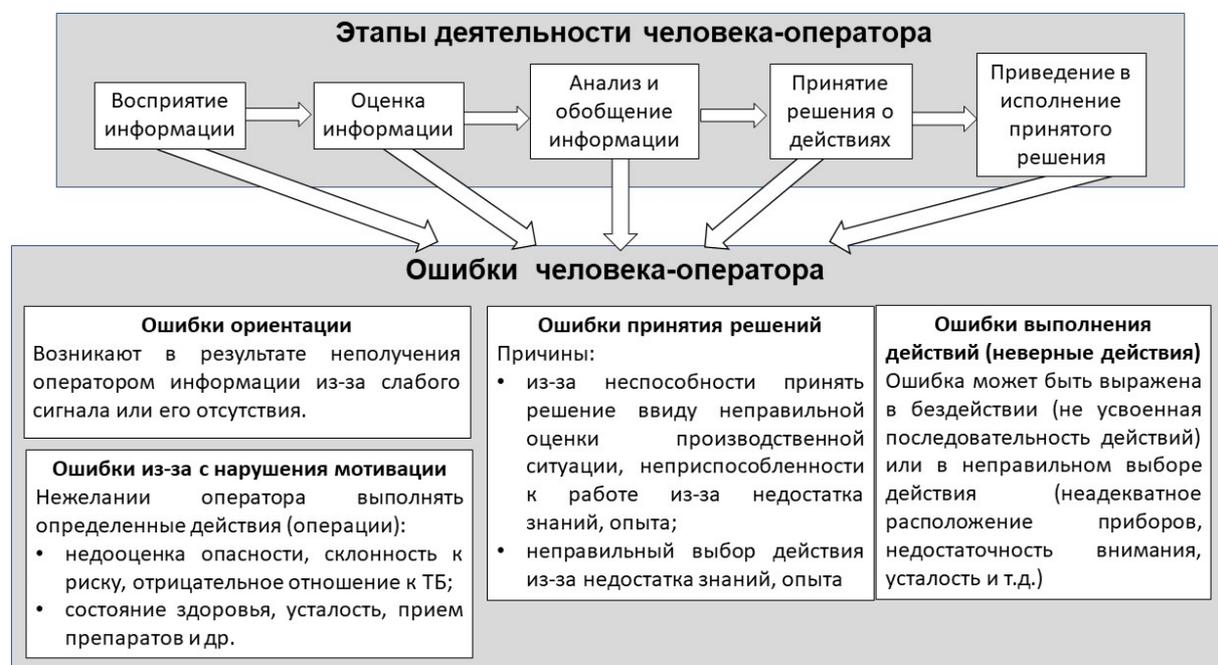


Рисунок 2 — Этапы деятельности человека-оператора и его ошибки [17]

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Как показано в работе [18], психологическое состояние оператора при помощи психометрических тестов может быть оценено показателями работоспособности, утомляемости и ошибаемости, которые взаимосвязаны и могут быть спрогнозированы при помощи имитационных моделей. Физиологическое состояние оператора, влияющее, несомненно, на его психическое состояние, в данной работе предлагается оценивать на основании данных, поступающих в режиме реального времени с датчиков индивидуального устройства [13]. С данного устройства, носимого оператором, по беспроводному каналу связи поступает информация от датчиков: показатели ЧСС (X_1), температура тела (X_2), КТР (X_3), данные акселерометра и GPS позиционирование работника на карте предприятия для дальнейшей обработки. На рисунке 3 показаны стандартные шкалы [19] диагностики состояний работника в зависимости от значений показателей X_1 , X_2 , X_3 .

В работе Р. Г. Антипова [20] показано применение подобных индикаторов для контроля ПФС специалиста при проведении технического обслуживания специальной техники. На экспериментальных данных исследователи обосновали диапа-

зоны показателей ЧСС, влажности кожных покровов и температуры термальных зон с различной степенью риска совершения неверных действий специалиста в ходе обслуживания технического устройства.

Для оценки состояния ПФС оператора сложного металлургического оборудования по комплексному критерию K , характеризующему возможность совершения им ошибок при управлении производственным процессом, в настоящей работе используется подход с использованием нечеткого логического вывода.

Математическая модель оценки ПФС характеризуется следующим образом:

– *входные лингвистические переменные (ЛП):* β_1 — напряженность нагрузки, универсум — $X_1 \in [0; 195]$, рис. 3, а; β_2 — температура тела, универсум — $X_2 \in [29,5; 41,5]$, рис. 3, б; β_3 — кожно-гальваническая реакция, универсум — $X_3 \in [5; 65]$, рис. 3, в;

– *выходная лингвистическая переменная:* β — интегральное состояние ПФС, характеризующее его способность совершать производственные действия, универсум — $K \in [0; 1]$.

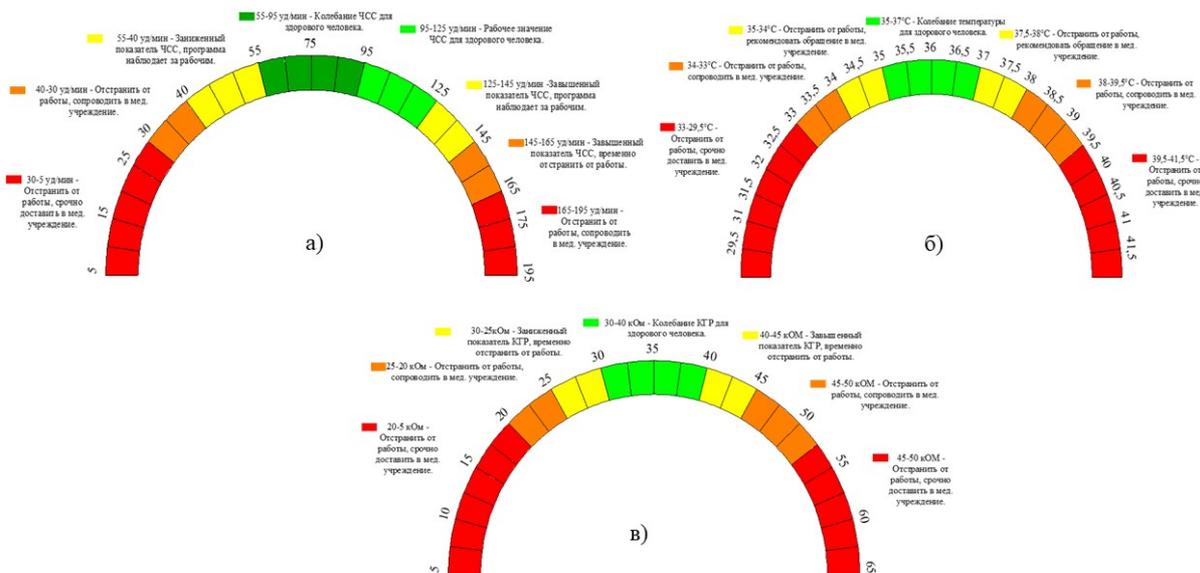


Рисунок 3 — Шкалы оценок состояния оператора по показателям ПФС (а — частота сердечных сокращений X_1 , уд/мин; б — температура тела X_2 , °C; в — показатель кожно-гальванической реакции X_3 , кОм)

На рисунке 4 показана структура системы входных и выходных показателей в математической модели.

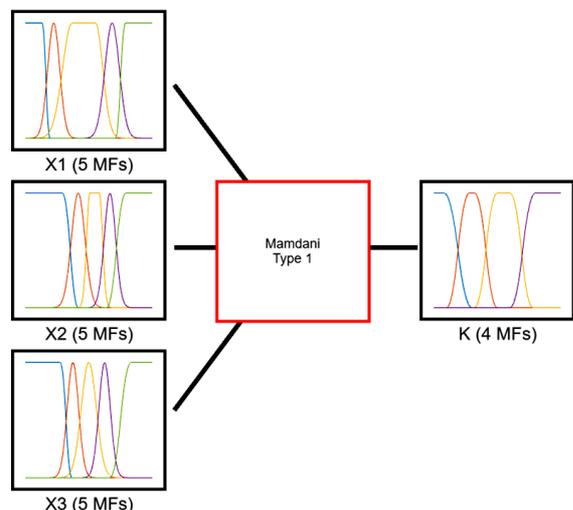


Рисунок 4 — Структура входных и выходных ЛП

Функции принадлежности (ФП) входных и выходных ЛП для соответствующих термов приведены в таблице 2. Они определены на основании данных рисунка 3 с учетом перехода на нечеткие шкалы. Вид ФП соответствует обозначениям функций в модуле Fuzzy Logic Designer программы MatLab.

База правил, связывающих входные и выходные лингвистические переменные, разрабатывается в данном исследовании на основании экспертных оценок (на первом этапе моделирования при отсутствии полной базы статистических данных) и далее может быть оптимизирована с учетом накопления статистики в реальных условиях производства. В общем виде продукционное правило описывается формулой (1), где условия могут быть в утвердительной или отрицательной формах, а в качестве связок выступают логические операторы «И» или «Или»:

$$\text{Если } ((\text{условие } 1) \text{ связка } (\text{условие } 2)) \dots \text{связка } (\text{условие } n), \text{ то } (\text{заключение}). \quad (1)$$

Формирование базы правил нечеткого логического вывода выполняется в модуле Rule Editor. На рисунке 5 показана часть продукционных правил.

В столбце Weight рисунка 5 представлены весовые коэффициенты для каждого правила, с которыми выполняется активизация подусловий правил.

Таблица 2

Характеристика параметров нечеткой модели

ЛП/универсум	Термы	Тип ФП	Параметры ФП
β_1 — напряженность нагрузки (на основе ЧСС) / X_1	Низкая (C1)	Z-shaped	30; 42
	Ниже среднего (B1)	Gaussian	8,98; 47,5
	Средняя (A1)	Two sided Gaussian	14,22; 75; 10,98; 110
	Выше средней (BB1)	Gaussian	10,81; 135
	Высокая (CC1)	S-shaped	140; 155
β_2 — температура / X_2	Низкая (C2)	Z-shaped	33; 34,5
	Ниже среднего (B2)	Gaussian	0,64; 34,5
	Средняя (A2)	Two sided Gaussian	0,3051; 35,6; 0,3051; 36,5
	Выше средней (BB2)	Gaussian	0,54; 37,5
	Высокая (CC2)	S-shaped	37,2; 39
β_3 — кожно-гальваническая реакция / X_3	Низкая (C3)	Z-shaped	21,5; 27
	Ниже среднего (B3)	Gaussian	2,69; 27,5
	Средняя (A3)	Gaussian	3,56; 35
	Выше средней (BB3)	Gaussian	2,69; 42,5
	Высокая (CC3)	S-shaped	45; 55

Продолжение таблицы 2

ЛП/универсум	Термы	Тип ФП	Параметры ФП
<i>Классификация ПФС оператора на основании комплексной оценки</i>		<i>Параметры ФП для нечеткой классификации ПФС оператора</i>	
β — функциональное состояние оператора, способствующее выполнению рабочих функций / К	Оптимальное рабочее состояние (А); $K \in [0; 0,3]$	Z-shaped	0,08; 0,3
	Эмоциональная напряженность, возможны ошибочные действия (В); $K \in [0,1; 0,5]$	Pi-shaped	0,1; 0,28; 0,32; 0,5
	Переутомление, велика вероятность ошибок (С); $K \in [0,32; 0,78]$	Pi-shaped	0,32; 0,5; 0,6; 0,78
	Нерабочее состояние, соответствующее заболеванию (D); $K \in [0,6; 1]$	S-shaped	0,6; 0,8

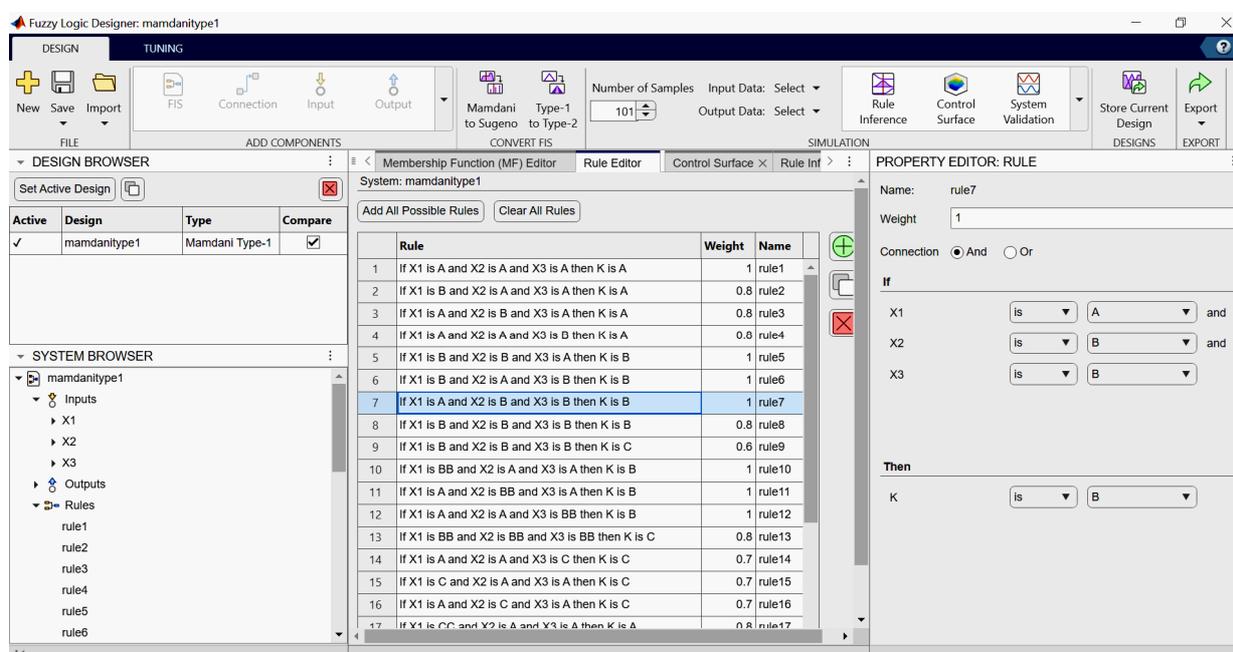


Рисунок 5 — Окно модуля Rule Editor

По результатам моделирования для каждого набора значений входных переменных X_1 , X_2 и X_3 и выполнения процедуры нечеткого логического вывода, а также дефазификации по методу центра тяжести определяется значение выходной переменной K . На рисунке 6 показан модуль, в котором сначала проверяется каждое активное правило, затем происходит формирование итогового результата.

В приведенном на рисунке 6 примере для данных $X_1 = 100$ уд/мин, $X_2 = 36,6$ °С,

$X_3 = 35$ кОм, поступивших с носимого устройства оператора, модель выдает значение итогового индикатора $K = 0,156$, что, согласно классификации таблицы 2, соответствует оптимальному рабочему состоянию оператора.

Выводы и направление дальнейших исследований. Выполненные исследования позволили разработать в нечеткой постановке экспертную систему оценки ПФС, которая базируется на данных, поступающих в режиме реального времени с датчи-

ков носимого оператором устройства. Классификация ПФС оператора, заложенная в модель с нечетким логическим выводом, позволяет интегрально характеризовать способность работника к выполнению его трудовых функций. Практическая реализация предложенного подхода в реальных условиях металлургического произ-

водства при эксплуатации сложных технических систем позволит усовершенствовать системы мониторинга функционального состояния человека-оператора на предприятии, что ожидаемо приведет к уменьшению негативного воздействия человеческого фактора на эффективность производства и безопасность условий труда.

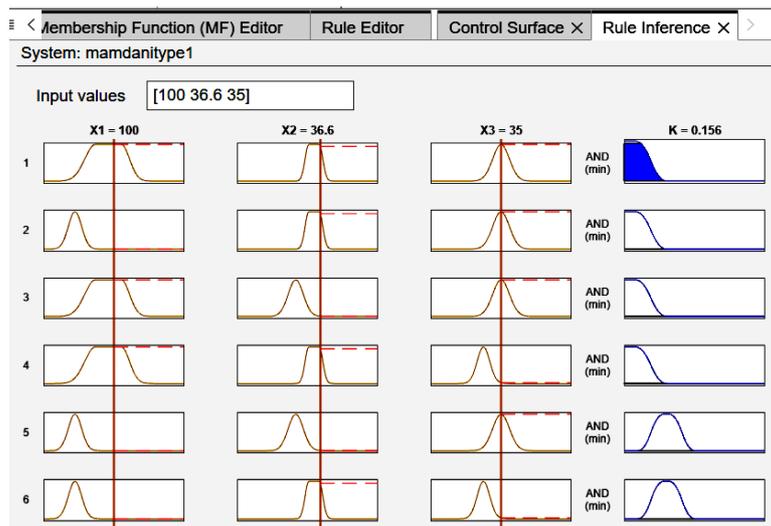


Рисунок 6 — Окно модуля Rule Inference

Дальнейшие исследования будут направлены на проведение экспериментов по выявлению и моделированию устойчивых связей между ПФС оператора при его работе в реальных условиях металлургиче-

ского производства и факторами внутренней и внешней среды, которые могут оказывать позитивное или негативное влияние на функциональное состояние работника.

Список источников

1. Новожилова А. А., Гергей А. М., Меркулова А. Г. Особенности исследования профессионального утомления в физиологии труда // *Мед. труда и пром. экол.* 2022. № 62 (4). С. 238–246. DOI: 10.31089/1026-9428-2022-62-4-238-246
2. Воронин В. М. Психология решения оперативных задач в больших системах. Диагностика функционального состояния и обучение операторов : монография. Екатеринбург : УрГУПС, 2016. 249 с.
3. Руководство по физиологии труда / под ред. Н. Ф. Измерова, З. М. Золиной. М. : Медицина, 1983. 528 с.
4. Загрядский В. П., Сулимо-Самуйло З. К. Методы исследования в физиологии труда. Л. : ВМА, 1991. 110 с.
5. Michielsen H. J., Vries J. D., Van Heck G. L. Psychometric qualities of a brief self-rated fatigue measure: The Fatigue Assessment Scale // *Journal of Psychosomatic Research.* 2003. Vol. 54. Iss. 4. P. 345–352. DOI: 10.1016/s0022-3999(02)00392-6
6. Абашин В. Г. Адаптивная математическая модель мультибиометрической подсистемы определения работоспособности человека-оператора АРМ на основе нечетких множеств // *Информационные системы и технологии.* 2011. № 5 (67). С. 90–95. URL: <https://oreluniver.ru/file/archive/ISiT%205-20111.pdf> (дата обращения: 21.11.2023).

7. Распознавание психофизиологических состояний пользователей на основе скрытого мониторинга действий в компьютерных системах / В. И. Васильев, А. Е. Сулашко, Р. В. Борисов, С. С. Жумажанова // *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2017. № 3. С. 21–37.

8. Городецкий И. Г., Парахин А. В. Обзор физиологических, субъективных и объективных параметров для оценки работоспособности оператора // *StudNet*. 2020. № 3 (9). С. 699–707. DOI: 10.24411/2658-4964-2020-1101

9. Бубнова А. Е. Комплексная оценка субъективных и объективных физиологических характеристик критического уровня утомления у операторов МЧС // *Вестник ВолГМУ*. 2019. № 3 (71). С. 91–95. DOI: 10.19163/1994-9480-2019-3(71)-91-95

10. Гордиенко Л. В., Дмитриева И. А. Оценка человеческого фактора при возникновении нештатных ситуаций на основе нечетких множеств // *Инженерный вестник Дона*. 2016. № 4 (43). С. 112. EDN YJKSPD

11. Повышение безотказности металлургического оборудования методами контроля психофизиологических параметров работника в режиме реального времени / Д. А. Вишнеvский, А. П. Жильцов, А. Л. Сотников, Н. А. Бондарь // *Современная металлургия нового тысячелетия : сб. науч. тр. III всерос. науч.-практ. конф. с междунар. учас. Липецк : изд-во ЛГТУ, 2020. С. 45–50. EDN ISRHYU*

12. Vishnevsky D. A., Sotnikov A. L. Assessment of the psychophysiological state of the metallurgical operator during the working process in real time // *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2020. No. 21. P. 49–52. EDN MEMQFK. DOI: 10.26160/2474-5901-2020-21-49-52

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019616921 Рос. Федерация. Система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами / Д. А. Вишнеvский, А. П. Жильцов, В. А. Козачишен, Б. А. Сахаров. № 2019615644 ; заявл. 20.05.2019 ; опубли. 30.05.2019. EDN VCDXJV

14. Ильин Е. П. *Психофизиология состояний человека*. СПб. : Питер, 2005. 412 с.

15. Mamdani E. H., Assilian S. An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller // *International Journal Man-Machine Studies*. 1975. Vol. 7. Iss. 1. P. 1–13.

16. *Металлургическое производство [Электронный ресурс] // Профессиональные стандарты и справочники должностей : [сайт]. [2023]. URL : https://classdoc.ru/profstandart/27_metall/*.

17. Денисова Н. А., Подлипенская Л. Е., Бондарь Н. А. Использование методов психологического исследования для определения показателей психофизиологического состояния человека-оператора // *Пути совершенствования технологических процессов и оборудования промышленного производства : сб. тез. докл. VII науч.-техн. конф. с междунар. учас. Алчевск : ФГБОУ ВО «ДонГТУ», 2023. С. 41–43*.

18. Методика определения параметров математической модели динамики психофизиологического состояния оператора металлургического оборудования / Д. А. Вишнеvский, Л. Е. Подлипенская, Н. А. Денисова, Н. А. Бондарь // *Безопасность техногенных и природных систем*. 2024. Т. 8. № 1. С. 7–19. DOI: 10.23947/2541-9129-2024-8-1-7-19

19. Вишнеvский Д. А. Развитие научных основ и практика обеспечения безотказной эксплуатации металлургических машин и механизмов : дисс. ... д-ра техн. наук. Донецк, 2021. 336 с.

20. Антипов Р. Е. Контроль психофизического состояния: Методика контроля психофизического состояния специалиста при проведении технического обслуживания специальной техники с применением нечеткого множества и сетевого подхода // *Вестник военного образования*. 2022. № 6 (39). С. 34–39. EDN RMVHBH

© Денисова Н. А., Подлипенская Л. Е., Козачишен В. А.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Вишнеvским Д. А., д.т.н., проф. каф. МОЗЧМ ДонНТУ Сотниковым А. Л.

Статья поступила в редакцию 09.12.2024.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Денисова Наталья Анатольевна, канд. техн. наук, доцент, зав. каф. машин металлургического комплекса

Донбасский государственный технический университет,

г. Алчевск, Россия,

e-mail: natdeny@yandex.ru

Подлипенская Лидия Евгеньевна, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник управления перспективных научных исследований

Донбасский государственный технический университет,

г. Алчевск, Россия

Козачишен Виталий Анатольевич, канд. техн. наук, доцент каф. машин металлургического комплекса

Донбасский государственный технический университет,

г. Алчевск, Россия

***Denisova N. A., Podlipenskaya L. E., Kozachishen V. A.** (Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia, *e-mail: natdeny@yandex.ru)

CLASSIFICATION OF PSYCHOPHYSIOLOGICAL STATE OF A HUMAN- OPERATOR IN REAL-TIME MODE BASED ON DATA COMING FROM SENSORS OF THE INDIVIDUAL DEVICE

The research is devoted to the development of an approach to assessing the psychophysiological state of a human-operator based on real-time data from sensors of the wearable personalized device. It is proposed to use the method of fuzzy logical inference as a mathematical model. In this paper, the proposed fuzzy classifier is based on indicators of the wearable device sensors, generates an assessment of the operator's functional state, characterizing his ability to perform work functions.

Key words: psychophysiological state, classification, human-operator, wearable device, fuzzy logical inference.

Funding: the research is funded from the federal budget on the theme "Expert system for ensuring the reliability of metallurgical equipment considering the psychophysiological state of the operator in real time" (theme code: FRRU-2023-0005 in the Unified state information system for accounting the research, experimental and technical works).

References

1. Novozhilova A. A., Geregej A. M., Merkulova A. G. Peculiarities of occupational fatigue research in labor physiology [Osobennosti issledovaniya professional'nogo utomleniya v fiziologii truda] *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2022. No. 62 (4). Pp. 238–246. (rus) DOI: 10.31089/1026-9428-2022-62-4-238-246

2. Voronin V. M. Psychology of solving operational tasks in large systems. Diagnostics of functional state and operator training : a monograph [Psihologiya resheniya operativnykh zadach v bol'shikh sistemah. Diagnostika funktsional'nogo sostoyaniya i obuchenie operatorov : monografiya]. Ekaterinburg : USURT, 2016. 249 p. (rus)

3. Handbook of labor physiology [Rukovodstvo po fiziologii truda]. Eds. Izmerov N. F., Zolina Z. M. M. : Medicina, 1983. 528 p. (rus)

4. Zagryadskij V. P., Sulimo-Samujlo Z. K. Research methods in occupational physiology [Metody issledovaniya v fiziologii truda]. L. : Military Medical Academy, 1991. 110 p. (rus)

5. Michielsen H. J., Vries J. D., Van Heck G. L. Psychometric qualities of a brief self-rated fatigue measure: The Fatigue Assessment Scale. *Journal of Psychosomatic Research*. 2003. No. 54 (4). Pp. 345–352. DOI: 10.1016/s0022-3999(02)00392-6

6. Abashin V. G. Adaptive mathematical model of multibiometric subsystem of determination of human-operator operability AWS on the basis of fuzzy sets [Adaptivnaya matematicheskaya model' mul'tibiometricheskoy podsystemy opredeleniya rabotosposobnosti cheloveka-operatora ARM na osnove nechetkih mnozhestv]. *Information systems and technologies* 2011. No. 5 (67). Pp. 90–95. (rus) URL: <https://oreluniver.ru/file/archive/ISiT%205-20111.pdf> (date of treatment: 21.11.2023).

7. Vasil'ev V. I., Sulavko A. E., Borisov R. V., Zhumazhanova S. S. Identification of the psychophysiological state of users through covert monitoring of actions in computer systems [Raspoznavanie psihofiziologicheskikh sostoyanij pol'zovatelej na osnove skrytogo monitoringa dejstvij v komp'yuternyh sistemah]. *Iskusstvennyy Intellekt i Prinyatie Resheniy*. 2017. No. 3. Pp. 21–37. (rus)

8. Gorodeckij I. G., Parakhin A. V. Review of physiological, subjective and objective parameters to assess the operator's performance [Obzor fiziologicheskikh, sub'ektivnykh i ob'ektivnykh parametrov dlya ocenki rabotosposobnosti operatora]. *StudNet*. 2020. No. 3 (9). Pp. 699–707. (rus) DOI: 10.24411/2658-4964-2020-1101

9. Bubnova A. E. Complex assessment of subjective and objective physiological characteristics of the critical level of fatigue in FRS operators [Kompleksnaya ocenka sub'ektivnykh i ob'ektivnykh fiziologicheskikh kharakteristik kriticheskogo urovnya utomleniya u operatorov MCHS]. *Journal of VolgSMU*. 2019. No. 3 (71). Pp. 91–95. (rus) DOI: 10.19163/1994-9480-2019-3(71)-91-95

10. Gordienko L. V., Dmitrieva I. A. Estimation of human factor at occurrence of abnormal situations on the basis of fuzzy sets [Ocenka chelovecheskogo faktora pri vozniknovenii neshtatnykh situacij na osnove nechetkih mnozhestv]. *Engineering journal of Don*. 2016. No. 4 (43). P. 112 (rus) EDN YJKSPD

11. Vishnevskiy D. A., Zhiltsov A. P., Sotnikov A. L., Bondar N. A. Increase of reliability of metallurgical equipment by methods of control of psychophysiological parameters of the worker in real time mode [Povyshenie bezotkaznosti metallurgicheskogo oborudovaniya metodami kontrolya psihofiziologicheskikh parametrov rabotnika v rezhime real'nogo vremeni]. *Sovremennaya metallurgiya novogo tysyacheletiya : sbornik nauchnykh trudov III Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*. Lipetsk : Publishing House LSTU. 2020. Pp. 45–50. (rus) EDN ISRHYU

12. Vishnevsky D. A., Sotnikov A. L. Assessment of the psychophysiological state of the metallurgical operator during the working process in real time. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2020. No. 21. Pp. 49–52. EDN MEMQFK. DOI: 10.26160/2474-5901-2020-21-49-52

13. Vishnevskiy D. A., Zhiltsov A. P., Kozachishen V. A., Sakharov B. A. Certificate of state registration of computer program no. 2019616921 RF. System of monitoring the psychophysiological state of metallurgical industry operator by software means. No. 2019615644 ; submitted 20.05.2019 ; published 30.05.2019. EDN VCDXJV

14. Il'in E. P. *Psychophysiology of human states [Psihofiziologiya sostoyanij cheloveka]*. SPb. : Piter, 2005. 412 p. (rus)

15. Mamdani E. H., Assilian S. An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller. *International Journal Man-Machine Studies*. 1975. Vol. 7. Iss. 1. Pp. 1–13.

16. *Metallurgical production [Metallurgicheskoe proizvodstvo]*. Professional'nye standarty i spravochniki dolzhnostej. 2023. URL : https://classdoc.ru/profstandart/27_metall/.

17. Denisova N. A., Podlipenskaya L. E., Bondar N. A. Use of psychological research methods to determine indicators of the psychophysiological state of the human operator [Ispol'zovanie metodov psihologicheskogo issledovaniya dlya opredeleniya pokazatelej psihofiziologicheskogo sostoyaniya cheloveka-operatora]. *Puti sovershenstvovaniya tekhnologicheskikh processov i oborudovaniya promyshlennogo proizvodstva : sbornik tezisev dokladov VII nauchno-tekhnicheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*. Alchevsk : FSBEI HE "DonSTU", 2023. Pp. 41–43. (rus)

18. Vishnevskiy D. A., Podlipenskaya L. E., Denisova N. A., Bondar N. A. Methodology for determining the parameters of mathematical model of the psychophysiological state dynamics of the metallurgical equipment operator [Metodika opredeleniya parametrov matematicheskoy modeli dinamiki psihofiziologicheskogo sostoyaniya operatora metallurgicheskogo oborudovaniya]. *Safety of Technogenic and Natural Systems*. 2024. Vol. 8. No. 1 Pp. 7–19. (rus) DOI: 10.23947/2541-9129-2024-8-1-7-19

19. Vishnevskij D. A. Development of scientific bases and practice of maintenance of failure-free operation of metallurgical machines and mechanisms : thesis ... dr. of technical sciences. [Razvitie nauchnyh osnov i praktika obespecheniya bezotkaznoj ekspluatatsii metallurgicheskikh mashin i mekhanizmov : dis. ... d-ra tekhn. nauk]. Donetsk, 2021. 336 p.

20. Antipov R. E. Control of psychophysical state methodology for monitoring the psychophysical state of a specialist during maintenance of special equipment with the use of fuzzy set and network approach [Kontrol' psihofizicheskogo sostoyaniya metodika kontrolya psihofizicheskogo sostoyaniya specialista pri provedenii tekhnicheskogo obsluzhivaniya special'noj tekhniki s primeneniem nechyotkogo mnozhestva i setevogo podhoda]. Bulletin of Military Education. 2022. No. 6 (39). Pp. 34–39. (rus) EDN RMVHBH

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Denisova Nataliia Anatol'evna, PhD in Engineering, Assistant Professor, Head of the Department of Metallurgical Complex Machines
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia,
e-mail: natdeny@yandex.ru

Podlipenskaya Lidiya Evgen'evna, PhD in Engineering, Assistant Professor, Leading Researcher of the Advanced Scientific Research Department
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia

Kozachishen Vitaliy Anatoliyevich, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Metallurgical Complex Machines
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia