

## Анализ модели управляющей деятельности машиниста и разработка методики оценки его профессиональных компетенций на основе нечеткой логики

К.И. Юренко<sup>1</sup>, П.А. Харченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону  
<sup>2</sup>ОАО «РЖД», эксплуатационное локомотивное депо Лихая, Каменск-Шахтинский

**Аннотация:** В статье рассматривается актуальная проблема анализа эффективности управляющей деятельности машиниста (УДМ) и разработки методики оценки его профессиональных компетенций (ПК) с использованием в качестве исходной информации данных бортовых регистраторов параметров движения и специализированных железнодорожных АСУ как альтернативы используемым в настоящее время таким инструментам как профессиональные тесты, технология ассессмент-центр, тест «Бизнес-профиль РЖД», опросник методом 90 градусов и др. Предложена методика вычисления интегральной оценки ПК на основе анализа эффективности УДМ с использованием методов искусственного интеллекта, в частности, нечеткой логики как технологии обработки знаний, для построения нечеткой логической системы на основе базы нечетких продукционных правил, что позволяет формализовать критерии оценки УДМ (соблюдение графика движения, энергоэффективность, соблюдение норм и правил безопасности движения) используя лингвистические переменные и вычислять интегральную оценку качества УДМ с помощью процедуры нечеткого логического вывода. Это позволит повысить точность и достоверность оценок профессиональных компетенций применительно к технологическому процессу ведения поезда, выявлять наиболее эффективные приемы и навыки вождения поездов, включая ручной и автоматизированные режимы, взаимодействие машиниста с системой автоведения и т.д., совершенствовать программно-алгоритмическое обеспечение систем автоведения и автомашиниста в рамках реализации проекта «Цифровая железная дорога».

**Ключевые слова:** локомотивная бригада, машинист, локомотив, регистратор параметров движения, компетентностный подход, профессиональные компетенции, искусственный интеллект, нечеткая логика, цифровая железная дорога, автоведение, автомашинист.

1. **Введение.** Управляющая деятельность машиниста (УДМ) локомотива представляет собой сложный высокоответственный процесс человеко-машинного взаимодействия в режиме реального времени в условиях повышенной тяжести и напряженности труда и постоянного изменяющихся факторов внешней среды [1, 2]. От качества УДМ в существенной степени зависит безопасность, энергоэффективность и надежность перевозочного процесса и операционной деятельности российских железных дорог. В последние годы существенно возросло число

---

и сложность бортовых технических средств локомотива [3 – 6], что повышает требования к уровню подготовки локомотивных бригад.

Поэтому оценка квалификации и профессиональных компетенций машинистов локомотивов (локомотивных бригад) очень важна как для оценки и прогнозирования рисков, связанных с человеческим фактором, анализа эффективности функционирования всего железнодорожного транспорта, так и при принятии управленческих и кадровых решений (кадровых назначений, присвоения категорий, назначении на ответственные рейсы, планировании мероприятий по подготовке и повышению квалификации, совершенствовании кадровой политики в целом).

В настоящее время в ОАО «РЖД», так же как во многих других предприятиях и организациях, в целях повышения эффективности управления персоналом применяется компетентностный подход [7 – 9]. Модель профессиональных компетенций «Эксплуатация тягового подвижного состава» относится ко всем подразделениям дирекции тяги и охватывает все ключевые профессии, относящиеся к производственному профилю дирекции, в частности, профессию машиниста.

Каждая компетенция оценивается по шкале от 0 до 3 баллов (0 – не соответствует ожиданиям; 1 – требуются улучшения; 2 – соответствует ожиданиям; 3 – превосходит ожидания) с помощью таких инструментов как профессиональные тесты, технология ассесмент-центр, тест «Бизнес-профиль РЖД», опросник методом 90 градусов [8].

Однако, как показывает практика, использование указанных выше традиционных инструментов применительно к оценке квалификации работников локомотивных бригад (уровень профессиональных компетенций, результативность, опыт работы) недостаточно, поскольку не учитывает непосредственных результатов выполнения служебных обязанностей [2], связанных с реализацией технологического процесса ведения поезда, что

---

является наиболее объективной оценкой их профессионализма. Кроме того, указанный многокритериальный характер оценок затрудняет, например, их сравнение между собой, определения единого рейтинга; отсутствует методика вычисления интегральной оценки.

Вместе с тем, в связи с выполнением приоритетных целей и задач развития железных дорог РФ – реализацией цифровой железной дороги, переходом от системы автоведения к автомашинисту, совершенствованием технологии энергоэффективного и безопасного вождения поездов, актуальным является развитие инструментов анализа и оценки УДМ, разработка методики расчетов интегральных оценок на основе данных средств объективного контроля. Это позволит повысить точность и достоверность оценок профессиональных компетенций применительно к технологическому процессу ведения поезда, выявлять наиболее эффективные приемы и навыки вождения поездов, включая ручной и автоматизированные режимы, взаимодействие машиниста с системой автоведения и т.д., совершенствовать программно-алгоритмическое обеспечения систем автоведения и автомашиниста.

Для решения указанной задачи перспективным представляется использование современных достижений в области искусственного интеллекта, в частности технологии обработки знаний с использованием нечеткой логики [10,11], позволяющих предложить новый подход к решению рассматриваемой задачи вычисления интегральной оценки качества УДМ (компетенций локомотивных бригад), который является альтернативой традиционным инструментам, указанным выше.

**2. Анализ технических средств объективного контроля УДМ.** В работах [1,12] предложены критерии оценки УДМ и возможные источники информации на базе средств объективного контроля – бортовых регистраторов параметров движения локомотивных систем управления и

---

обеспечения безопасности движения [13], а также железнодорожных АСУ. Они представлены на рис. 2. По мнению авторов, для оценки УДМ целесообразно использовать три основных критерия – соблюдение графика движения, энергоэффективность и соблюдение норм и правил безопасности движения.

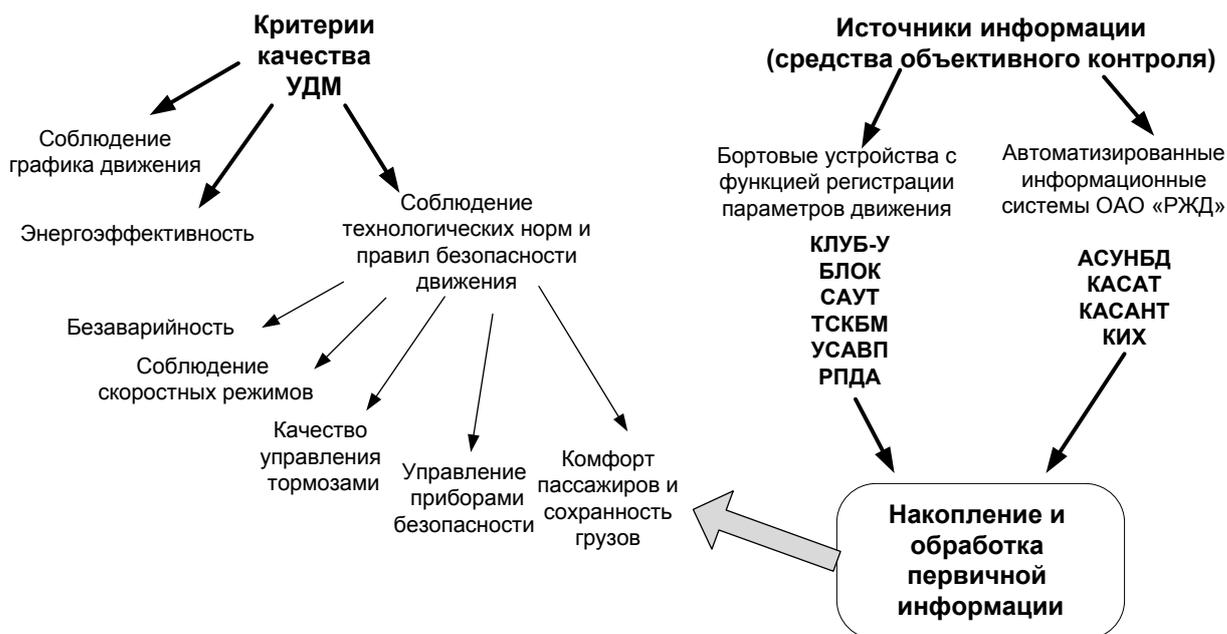


Рис. 2. – Источники информации и критерии оценки УДМ

Первые два показателя в данной работе интерпретируются как отклонения от графика движения и нормы расхода электроэнергии и топливных ресурсов и характеризуются непрерывными величинами, а остальные – дискретными (количество тех или иных событий, нарушений и т.д.).

Анализ квалификации машиниста на основе усредненных статистических показателей затруднен, поскольку они не в полной мере характеризуют качество УДМ, а кроме того, между ними могут быть определённые зависимости. Например, экономия электроэнергии может быть связана с нарушением графика движения (опозданиями). Поэтому в работе

используется подход, предполагающий использование лингвистических моделей рассматриваемых критериев оценки.

**3. Исполнение графика движения.** Обозначим  $i$  - общее количество поездов,  $j$  - количество контрольных участков (КУ) в каждой поездке (станции, определяемых графиком),  $k$  - число отклонений от графика по вине локомотивной бригады,  $L$  - общий линейный пробег, км,  $t_{ij}^z$  и  $t_{ij}^f$  - заданное и фактическое время хода на  $j$  - м КУ в  $i$  - ой поездке. Будем определять отклонение от графика как разность между графиковым временем хода по перегону и фактическим:  $\Delta t_{ij} = t_{ij}^z - t_{ij}^f$ , очевидно, если  $\Delta t_{ij} > 0$  - наблюдается опережение графика, если  $\Delta t_{ij} < 0$  - отставание,  $i^* j = 1..k$ .

Согласно правилам, действующим в ОАО «РЖД» отклонение от графика фиксируется при  $|\Delta t| \geq 1$  мин, а при  $|\Delta t| \geq 6$  определяется серьезное отклонение от графика, которые фиксируются в АСУ «ГИД-УРАЛ-ВНИИЖТ».

Введем лингвистическую переменную (ЛП)  $r$  = «Отклонение от графика». Универсальным множеством для переменной  $r$  будет являться отрезок  $[0, 1]$ , а множеством значений переменной  $r$  - терм-множество  $r = \{R_1, R_2, R_3, R_4, R_5\}$ , где  $R_1$  - «положительное отклонение большое (опережение графика более 6 мин)»;  $R_2$  - «положительное отклонение малое» (опережение графика от 1 до 6 мин);  $R_3$  - «отклонение отсутствует» (менее 1 мин);  $R_4$  - «отрицательное отклонение малое» (опоздание от 1 до 6 минут);  $R_5$  - «отрицательное отклонение большое» (опоздание свыше 6 минут). При этом каждый терм из множества  $R$  является именем нечеткого подмножества на отрезке  $[0, 1]$ . Будем рассматривать эти подмножества как треугольные нечеткие числа.

Составим таблицу функций принадлежности (ФП) каждого терма, используя ФП треугольного нечеткого числа. Обозначим  $t = \{t_A, t_B, t_C\}$  -

параметры нечеткого числа;  $T = \{T_1, T_2, T_3, T_4, T_5\}$  – константы:  $t \in T$ , причем  $t_1 = \{-\infty, T_1, T_2\}$ ;  $t_2 = \{T_1, T_2, T_3\}$ ;  $t_3 = \{T_2, T_3, T_4\}$ ;  $t_4 = \{T_3, T_4, T_5\}$ ;  $t_5 = \{T_4, T_5, \infty\}$ .

Функцию принадлежности будем вычислять, используя формулы:

$$\mu_R(\Delta t, t) \Big|_{t=t_2 \vee t_3 \vee t_4} = \begin{cases} 0, & \text{если } \Delta t < t_A \\ \frac{\Delta t - t_A}{t_B - t_A}, & \text{если } t_A \leq \Delta t \leq t_B \\ \frac{t_C - \Delta t}{t_C - t_B}, & \text{если } t_B \leq \Delta t \leq t_C \\ 0, & \text{если } \Delta t > t_C \end{cases}$$

$$\mu_R(\Delta t, t) \Big|_{t=t_1} = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta t < t_A \\ \frac{t_C - \Delta t}{t_C - t_B}, & \text{если } t_B \leq \Delta t \leq t_C \end{cases}$$

$$\mu_R(\Delta t, t) \Big|_{t=t_5} = \begin{cases} \frac{\Delta t - t_A}{t_B - t_A}, & \text{если } t_A \leq \Delta t \leq t_B \\ 1, & \text{если } \Delta t > t_B \end{cases}$$

Принимая  $T = \{-6, -1, 0, 1, 6\}$  составляем таблицу № 1. В формулах, представленных в таблице, исключены интервалы, на которых ФП принимает нулевое значение.

Таблица № 1

Функции принадлежности терм-множеств  $R$

№ №	Терм $R_q$	Значение $R$	Функция принадлежности нечеткого множества $R_q$
1	$R_1$	Опережение большое $R_1 \in (-\infty; -1]$	$\mu_{R_1}(\Delta t) = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta t \leq -6 \\ 1 - 0.2(\Delta t + 6), & \text{если } -6 \leq \Delta t \leq -1 \end{cases}$
2	$R_2$	Опережение малое $R_2 \in [-6; 0]$	$\mu_{R_2}(\Delta t) = \begin{cases} 0.2(\Delta t + 6), & \text{если } -6 \leq \Delta t \leq -1 \\ 1 - (\Delta t + 1), & \text{если } -1 \leq \Delta t \leq 0 \end{cases}$
3	$R_3$	Отклонение очень малое $R_3 \in [-1; 1]$	$\mu_{R_3}(\Delta t) = \begin{cases} \Delta t + 1, & \text{если } -1 \leq \Delta t \leq 0 \\ 1 - \Delta t, & \text{если } 0 \leq \Delta t \leq 1 \end{cases}$
4	$R_4$	Опоздание малое $R_4 \in [0; 6]$	$\mu_{R_4}(\Delta t) = \begin{cases} \Delta t, & \text{если } 0 \leq \Delta t \leq 1 \\ 1 - 0.2(\Delta t - 1), & \text{если } 1 \leq \Delta t \leq 6 \end{cases}$
5	$R_5$	Опоздание большое $R_5 \in [1; \infty)$	$\mu_{R_5}(\Delta t) = \begin{cases} 0.2(\Delta t - 1), & \text{если } 1 \leq \Delta t \leq 6 \\ 1, & \text{если } \Delta t \geq 6 \end{cases}$

Значение ФП будем рассматривать как степень истинности термина  $R_q$ . Например, если опоздание составляет  $\Delta t = 5$  минут, то отличную от нуля ФП

имеют два термина:  $R_4$  – «опоздание малое» и  $R_5$  – «опоздание большое», при этом  $\mu_{R_4} = 1 - 0.2(\Delta t - 1)|_{\Delta t=5} = 0.2$  и  $\mu_{R_5} = 1 - 0.2(\Delta t - 1)|_{\Delta t=5} = 0.8$

Графики ФП построены на рис. 2.

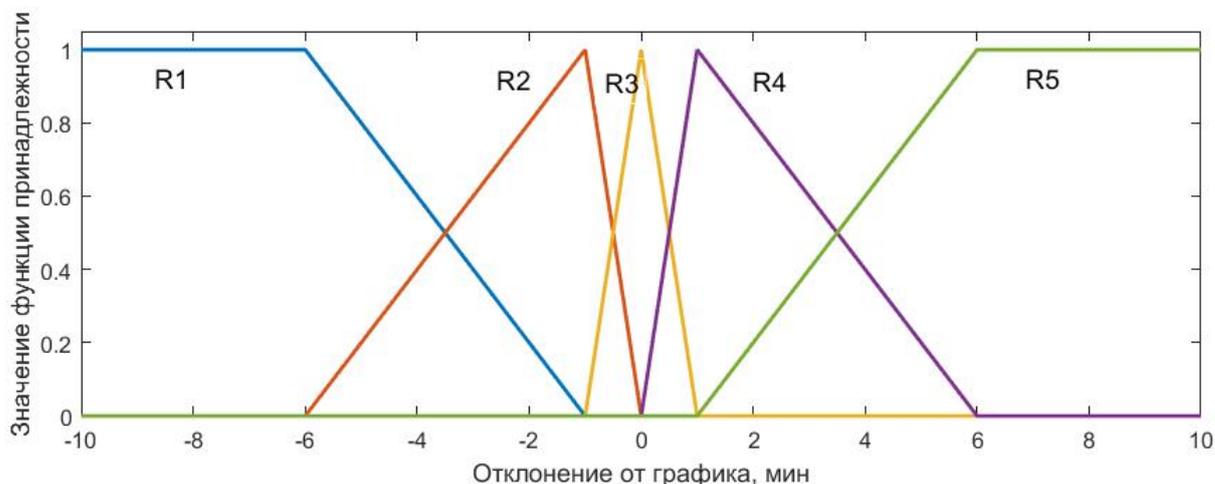


Рис. 2. – Графики функции принадлежности термов ЛП «Отклонение от графика»

**4. Расход электроэнергии.** Аналогично рассмотрим ЛП  $e$  – «Отклонение расхода электроэнергии от нормы». Будем определять в каждой поездке удельный перерасход (или экономию электроэнергии):  $\Delta A = (A^{norm} - A^{fact}) / A^{norm}$ , где  $\Delta A$  – отклонение от нормы,  $A^{norm}$  – нормированный расход;  $A^{fact}$  – фактический расход электроэнергии. Введем лингвистическую переменную  $e$  – отклонение расхода электроэнергии от нормы:  $e = \{E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, E_7\}$ , где  $E_1$  – существенная экономия (более 7 %);  $E_2$  – большая экономия (от 3 до 7 %);  $E_3$  – малая экономия (от 1,5 до 3 %);  $E_4$  – очень малое отклонение от нормы (в пределах 1,5 %);  $E_5$  – малый перерасход (от 1,5 до 3 %);  $E_6$  – большой перерасход энергии (от 3 до 7 %);  $E_7$  – очень большой перерасход (более 7%) – рис. 3, таблица № 2.

Аналогично, значение ФП будем рассматривать как степень истинности термина  $E_q$ . Например, если экономия энергии составляет  $\Delta A = -2$

%, то отличную от нуля ФП имеют два термина:  $E_2$  – «экономия большая» и  $E_3$  – «экономия малая», при этом

$$\mu_{E_2} = 1 - (\Delta A + 3)/1.5 |_{\Delta A = -2} = 0.33 \text{ и } \mu_{E_3} = (\Delta A + 3)/1.5 |_{\Delta A = -2} = 0.67.$$

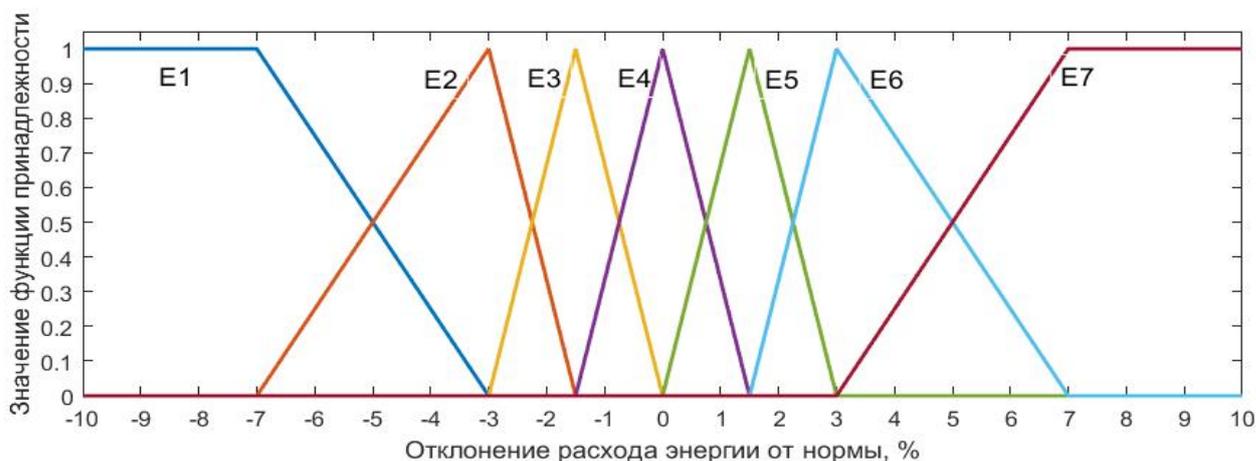


Рис. 3 - Графики функции принадлежности термов ЛП «Отклонение расхода энергии от нормы»

Таблица № 2

Функции принадлежности терм-множеств  $E$

№ №	Терм $E_q$	Значение $E$	Функция принадлежности нечеткого множества $E_q$
1	$E_1$	Экономия значительная $E_1 \in (-\infty; -7]$	$\mu_{E_1}(\Delta A) = \begin{cases} 1, \text{ если } \Delta A \leq -7 \\ 1 - 0.25(\Delta A + 7), \text{ если } -7 \leq \Delta A \leq -3 \end{cases}$
2	$E_2$	Экономия большая $E_2 \in [-7; -1.5]$	$\mu_{E_2}(\Delta A) = \begin{cases} 0.25(\Delta A + 7), \text{ если } -7 \leq \Delta A \leq -3 \\ 1 - (\Delta A + 3)/1.5, \text{ если } -3 \leq \Delta A \leq -1.5 \end{cases}$
3	$E_3$	Экономия малая $E_3 \in [-3; 0]$	$\mu_{E_3}(\Delta A) = \begin{cases} (\Delta A + 3)/1.5, \text{ если } -3 \leq \Delta A \leq -1.5 \\ 1 - (\Delta A + 1.5)/1.5, \text{ если } -1.5 \leq \Delta A \leq 0 \end{cases}$
4	$E_4$	Отклонение от нормы очень малое $E_4 \in [-1.5; 1.5]$	$\mu_{E_4}(\Delta A) = \begin{cases} (\Delta A + 1.5)/1.5, \text{ если } -1.5 \leq \Delta A \leq 0 \\ 1 - \Delta A/1.5, \text{ если } 0 \leq \Delta A \leq 1.5 \end{cases}$
5	$E_5$	Перерасход малый $E_5 \in [0; 3]$	$\mu_{E_5}(\Delta A) = \begin{cases} \Delta A/1.5, \text{ если } 0 \leq \Delta A \leq 1.5 \\ 1 - (\Delta A - 1.5)/1.5, \text{ если } 1.5 \leq \Delta A \leq 3 \end{cases}$
6	$E_6$	Перерасход большой $E_6 \in [1.5; 7]$	$\mu_{E_6}(\Delta A) = \begin{cases} (\Delta A - 1.5)/1.5, \text{ если } 1.5 \leq \Delta A \leq 3 \\ 1 - 0.25(\Delta A - 3), \text{ если } 3 \leq \Delta A \leq 7 \end{cases}$
7	$E_7$	Перерасход значительный $E_7 \in [7; \infty]$	$\mu_{E_7}(\Delta A) = \begin{cases} 0.25(\Delta A - 3), \text{ если } 3 \leq \Delta A \leq 7 \\ 1, \text{ если } \Delta A > 7 \end{cases}$

5. **Лингвистическая переменная «Частота».** Отметим, что величины  $\Delta t$  и  $\Delta A$  являются непрерывными случайными величинами. Будем анализировать на основе первичных статистических данных частоту появления различных значений лингвистических переменных  $r$  и  $e$  с использованием ЛП «Частота», включающая следующие терм-множества:  $f=\{VS, SM, ML, OF, VF\}$ , где  $VS$  – очень редко (*very seldom*);  $SM$  – редко (*seldom*);  $ML$  – более-менее часто (*more-less often*);  $OF$  – часто (*often*);  $VF$  – очень часто (*very often*). Функции принадлежности термов ЛП будем описывать трапециевидными ФП  $\mu_f(f)$ :

$$\mu_f(f) = \begin{cases} 0, & \text{если } f < f_A \\ \frac{f - f_A}{f_B - f_A}, & \text{если } f_A \leq f \leq f_B \\ 1, & \text{если } f_B < f < f_C \\ \frac{f_D - f}{f_D - f_C}, & \text{если } f_C \leq f \leq f_D \\ 0, & \text{если } f > f_D \end{cases},$$

где  $f = f_{R_i}$  или  $f = f_{E_i}$ , где  $f_{R_i}$  и  $f_{E_i}$  – относительные частоты попадания значений величин  $\Delta t$  и  $\Delta A$  в соответствующие диапазоны значений  $R_i$  и  $E_i$ ,

определяемые по формулам:  $f_{R_i} = \sum_{j=1}^n \mu_{R_i}(\Delta t_j) / n$  и  $f_{E_i} = \sum_{j=1}^m \mu_{E_i}(\Delta t_j) / m$ , где  $n$  и

$m$  – количества исходных данных. Учитывая особенности операций нечеткой логики, а также субъективный характер задания терм-множеств функций принадлежности суммы частот могут быть не равны 1, т.е.  $\sum_{i=1..5} f_{R_i} \neq 1$

и  $\sum_{i=1..7} f_{E_i} \neq 1$ . В этом случае значения частот должны быть нормализованы:

$$f'_{R_i} = f_{R_i} / \sum_{i=1..5} f_{R_i} \text{ и } f'_{E_i} = f_{E_i} / \sum_{i=1..5} f_{E_i}.$$

Числовые параметры и графики терм-множеств ЛП «Частота» приведены в таблице № 3 и на рис. 4.

Таблица № 3

Числовые параметры терм-множеств ЛП «Частота»

Аргументы ФП	Терм-множества				
	<b>VS</b> Очень редко	<b>SM</b> Редко	<b>ML</b> Более-менее часто	<b>OF</b> Часто	<b>VF</b> Очень часто
$f_{R_i}, f_{E_i}$	(0; 0; 0.1; 0.2)	(0.1; 0.2; 0.3; 0.4)	(0.3; 0.4; 0.5; 0.6)	(0.5; 0.6; 0.7; 0.8)	(0.7; 0.8; 1; 1)

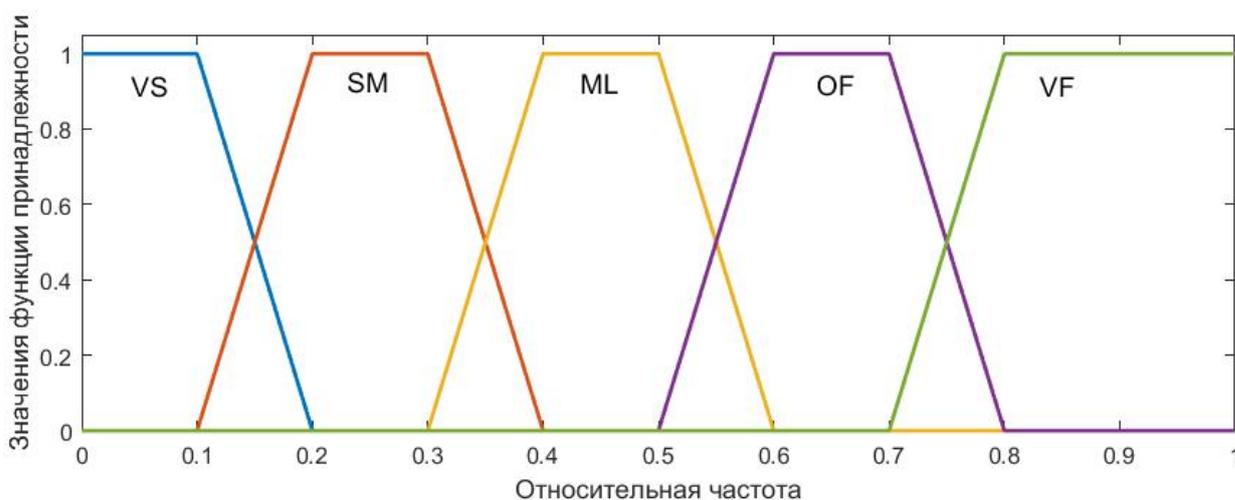


Рис. 4 - Графики функции принадлежности термов ЛП «Частота»

**6. Соблюдение норм и правил безопасности движения и технической эксплуатации подвижного состава.** Данный критерий УДМ будем оценивать по числу нарушений, которые сгруппируем в три категории: 1) крушения, аварии и события, связанные с нарушением норм и правил безопасности движения и технической эксплуатации железнодорожного транспорта –  $Q_1$ ; 2) отказы технических средств 1, 2 и 3 категорий и технологических нарушений 1 и 2 категорий, допущенных по вине локомотивной бригады соответственно –  $Q_2$ ; 3) нарушения правил управления тормозами, использования приборов безопасности и автоведения –  $Q_3$  в расчете на 100 тыс. км линейного пробега  $L$ :  $q_i = Q_i / L$ . Введем лингвистические переменные ЛП  $s_i =$  «Количество нарушений», характеризующие качество УДМ с точки зрения указанных критериев.  $s_i = \{NZ, SM, MN, VM\}$   $i=1..3$ , где  $NZ$  – около нуля (*near zero*);  $SM$  – мало

(small), *MN* – много (many), *VM* – очень много (vary many), ФП которых будем описывать треугольными функциями принадлежности. Числовые параметры и графики терм-множеств ЛП «Количество нарушений» приведены в таблице № 4 и на рис. 5.

Таблица № 4

Числовые параметры терм-множеств ЛП «Количество нарушений»

Аргументы ФП	Терм-множества			
	<b>NZ</b> около нуля	<b>SM</b> мало	<b>MN</b> Много	<b>VM</b> Очень много
$q_1, q_2, q_3$	(0; 1)	(0; 1; 2)	(1; 2; 3)	(2; 3; $\infty$ )

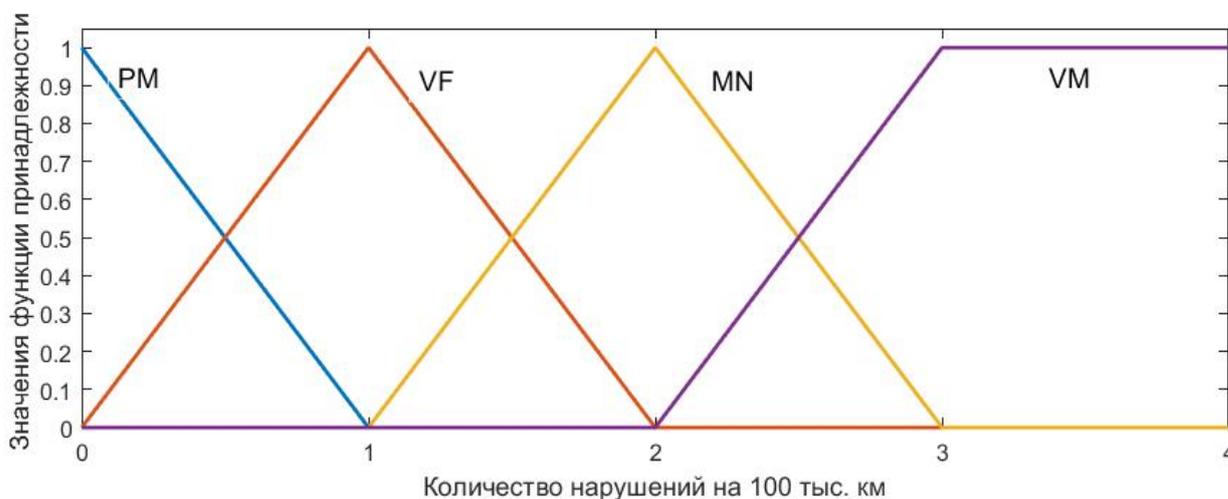


Рис. 5 - Графики функции принадлежности термов ЛП «Количество нарушений»

**7. Определение уровня квалификации машинистов на основе процедуры нечеткого вывода.** В результате обработки первичных статистических данных бортовых регистраторов параметров движения и железнодорожных АСУ и вычисления функций принадлежности введенных выше ЛП может быть получена таблица нечетких отношений, характеризующих частоту появления различных значений ЛП – таблица № 5. Для выполнения дальнейших вычислений и получения интегральной оценки профессиональных компетенций локомотивных бригад, определяемых качеством УДМ, разработана нелинейная модель оценки на основе нечеткого

вывода по базе правил. Предлагаемая нечеткая логическая система представлена в таблице № 6.

Таблица № 5

Нечеткие отношения, получаемые в результате первичной обработки данных

№		Точность исполнения графика движения					Выполнение нормы расхода энергоресурсов								Соблюдение норм и правил безопасности движения		
		$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$	$E_7$		$S_1$	$S_2$	$S_3$
1																	
2	<i>VS</i>	0.33	0.15	0.07	0.2	0.25	0.32	0.14	0.12	0.1	0.09	0.04	0.19	<i>NZ</i>	1	0.87	0.90
3	<i>SM</i>	0.1	0.21	0.14	0.41	0.14	0.1	0.17	0.14	0.2	0.18	0.08	0.13	<i>SM</i>	0	0.13	0.07
4	<i>ML</i>	0.17	0.19	0.23	0.12	0.29	0.07	0.11	0.12	0.29	0.2	0.13	0.08	<i>MN</i>	0	0	0.03
5	<i>OF</i>	0.04	0.16	0.45	0.15	0.2	0.11	0.16	0.23	0.05	0.11	0.19	0.15	<i>VM</i>	0	0	0
6	<i>VF</i>	0.36	0.29	0.11	0.12	0.12	0.12	0.2	0.23	0.17	0.12	0.09	0.07	-	-	-	-

В ней представлены пять нечетких продукционных правил, представляющих собой составные высказывания, образованные из высказываний типа « $A$  есть  $B$ », где  $A$  – наименование ЛП,  $B$  – её значение, которому соответствует терм из заданного терм-множества, и нечетких логических операций в форме связок «ЕСЛИ–ТО», «И», «ИЛИ». Для упрощения представления таблицы в её ячейках связки «ИЛИ» и скобки опущены.

Для получения результирующей оценки  $C_r$  используется ЛП  $c$  = «Квалификация машиниста»,  $c = \{VL, LW, MD, HL, VH\}$ , где  $VL$  – очень низкая (*very low*),  $LW$  – низкая (*low*),  $MD$  – средняя (*middle*),  $HL$  – высокая (*high*),  $VH$  – очень высокая (*very high*).

**8. Пример расчета интегральной оценки с помощью нечеткой логической системы.** В качестве исходных данных возьмем данные таблицы № 5, а в качестве множества результирующих оценок – множество  $C_r \in [1;5]$ , т.е. будем оценивать уровень квалификации машиниста по пятибалльной шкале. В качестве метода дефаззификации воспользуемся дискретным методом центра тяжести.

Таблица № 6

База нечетких продукционных правил

№		Нечеткие посылки с $R$		Нечеткие посылки с $E$		Нечеткие посылки с $S$		Заключения
1	ЕСЛИ	$R_5 = VF$ $R_5 = OF$ $R_1 = VF$ $R_1 = OF$	И	$E_6 = VF$ $E_6 = OF$ $E_7 = VF$ $E_7 = OF$	И	$S_1 = VM$ $S_2 = VM$ $S_2 = VM$	ТО	$C = VL$
2	ЕСЛИ	$R_1 = VF$ $R_1 = OF$ $R_1 = ML$ $R_2 = VF$ $R_2 = OF$ $R_3 = VS$ $R_3 = SM$ $R_4 = VF$ $R_4 = OF$ $R_5 = VF$ $R_5 = OF$ $R_5 = ML$	И	$E_4 = VS$ $E_4 = SM$ $E_5 = ML$ $E_5 = OF$ $E_5 = VF$ $E_6 = SM$ $E_6 = ML$ $E_7 = SM$ $E_7 = ML$	И	$S_1 = MN$ $S_1 = SM$ $S_2 = MN$ $S_3 = MN$	ТО	$C = LW$
3	ЕСЛИ	$R_2 = SM$ $R_2 = ML$ $R_2 = OF$ $R_3 = SM$ $R_3 = ML$ $R_3 = OF$ $R_4 = SM$ $R_4 = ML$ $R_4 = OF$	И	$E_3 = SM$ $E_3 = ML$ $E_4 = SM$ $E_4 = ML$ $E_4 = OF$ $E_5 = SM$ $E_5 = ML$ $E_5 = OF$	И	$S_2 = MN$ $S_2 = SM$ $S_3 = MN$ $S_3 = SM$	ТО	$C = MD$
4	ЕСЛИ	$R_3 = VF$ $R_3 = OF$ $И$ $R_1 = VS$ $R_1 = SM$ $И$ $R_2 = VS$ $R_2 = SM$ $И$ $R_4 = VS$ $R_4 = SM$ $И$ $R_5 = VS$ $R_5 = SM$	И	$E_1 = OF$ $E_1 = ML$ $E_2 = OF$ $E_2 = ML$ $E_3 = OF$ $E_3 = ML$ $E_3 = VF$ $E_4 = OF$ $E_4 = MF$ $E_4 = VF$	И	$S_1 = NZ$ $S_2 = NZ$ $S_2 = SM$ $S_3 = NZ$ $S_3 = SM$	ТО	$C = HL$
5	ЕСЛИ	$R_3 = VF$ $И$ $R_1 = VS$ $И$ $R_5 = VS$	И	$E_1 = VF$ $E_2 = VF$ $E_2 = OF$ $E_3 = VF$ $E_3 = OF$ $E_4 = VF$ $E_4 = OF$ $И$ $E_5 = VS$ $E_6 = VS$ $E_7 = VS$	И	$S_1 = NZ$ $И$ $S_1 = NZ$ $И$ $S_1 = NZ$	ТО	$C = VH$

Для приведенных исходных данных такая оценка принимает значение  $C_r = 3,7$ , что может интерпретироваться, как «квалификация машиниста выше средней, но несколько ниже уровня высокой».

### **Выводы.**

1. Оценка квалификации и профессиональных компетенций машинистов локомотива (локомотивных бригад) может быть выполнена на основе анализа их управляющей деятельности при исполнении ими служебных обязанностей – реализации технологического процесса ведения поезда. В качестве источников исходной информации для анализа и оценки УДМ предлагается использовать бортовые регистраторы параметром движения локомотивов и железнодорожные АСУ. Такой подход позволяет повысить объективность оценки по сравнению с традиционными подходами на основе анкетирования, интервью, опросников, тестирования и др.

2. Сложности получения интегральной числовой оценки УДМ связаны с большим числом критериев, определяющих её качество. Одним из эффективных путей их преодоления является применение методов искусственного интеллекта, в частности, нечеткой логики как технологии обработки знаний, для построения нечеткой логической системы на основе базы нечетких продукционных правил, что позволяет формализовать критерии оценки УДМ используя лингвистические переменные и вычислять интегральную оценку качества УДМ с помощью процедуры нечеткого логического вывода.

3. Разработанная методика анализа эффективности УДМ и оценки профессиональных компетенций машинистов может использоваться в качестве инструмента совершенствования технологии вождения поездов, развития систем автоведения и автомашиниста в рамках реализации проекта «Цифровой железной дороги».

## Литература

1. Юренко К.И., Харченко П.А., Юренко И.К. Человеко-машинное взаимодействие в технологическом процессе ведения поезда // Вестник ВЭЛНИИ. 2018. №1-2 (79). С. 135-146.

2. Харченко П.А., Юренко К.И. Проблемы энергоэффективности и безопасности при эксплуатации современного подвижного состава // Труды международной научно-практической конференции «Транспорт: наука, образование, производство» (Транспорт-2017) Том 1. Технические науки. . Ростов н/Д: Рост. гос. ун-т. путей сообщения, 2017. С. 284-288.

3. Юренко К.И., Фандеев Е.И., Нефедов В.В. Программно-технические и тренажеро-моделирующие комплексы для разработки, испытаний, управления и обслуживания современных локомотивов // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1826/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1826/).

4. Юренко К.И., Шепилова Е.Г., Гречук И.А. Совершенствование бортовых систем управления локомотивов на базе технических средств тренажеро-моделирующих комплексов // Инженерный вестник Дона, 2014, №4 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/2452/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/2452/).

5. Yurenko K.I., Fandeev E.I. Structure and functions of on-board autodriver system of train // Materials Engineering and Technologies for Production and Processing, May 19-20, 2016, IEEE Xplore (Scopus); Date Added to IEEE Xplore: 27 April 2017. - 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016; South Ural State University Chelyabinsk; Russian Federation. pp. 1-6.

6. Yurenko K.I., Fandeev E.I. Classification systems of automatic train driving with positions of the modern automatic control theory // Proceedings of 3rd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2017. Date of Conference: 16-19 May 2017; Date Added to IEEE Xplore (Scopus): 23 October; Saint Petersburg, Russia. pp. 1-5.



7. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года // Официальный сайт ОАО «РЖД» URL: doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE\_ID=704&layer\_id=5104&id=3997#5455 (дата обращения 15.04.2018г.).

8. Дьячков Д. Инструмент управления персоналом: ЕКТ // Пульт управления. Журнал для руководителей компаний транспортной отрасли URL: pult.gudok.ru/archive/detail.php?ID=1324997 (дата обращения: 15.04.2018).

9. Шаханов Д.С., Стеблянский Н.В., Награльян А.А., Безручко П.С. Корпоративные компетенции ОАО «РЖД» // Пульт управления. Журнал для руководителей компаний транспортной отрасли. URL: pult.gudok.ru/archive/detail.php?ID=899804 (дата обращения 15.04.2018г.).

10. Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. М.: Финансы и статистика, 2004. 320 с.

11. Коньшева Л.К., Назаров Д.М. Основы теории нечетких множеств. СПб.: Питер, 2011. 192 с.

12. Харченко П.А., Юренко К.И. Критерии оценки управляющей деятельности машиниста на основе данных бортовых регистраторов параметров движения // Сборник научных трудов «Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России», в 2 т. Том 1. Технические науки. Ростов н/Д: Рост. гос. ун-т. путей сообщения, 2018. С. 91-94.

13. Харченко, П.А., Гребенников Н.В. Разработка компьютерной модели пассажирского поезда на основе данных современных средств регистрации параметров движения // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2016. №2 С. 38 –46.

## References

1. Jurenko K.I., Harchenko P.A., Jurenko I.K. Vestnik VJelNII. 2018. №1-2 (79). pp. 135-146.
2. Harchenko P.A., Jurenko K.I. Trudy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo» (Transport-2017) Tom 1. Tehnicheskie nauki. [Proceedings of the international scientific and practical conference "Transport: science, education, production" (Transport-2017)] Volume 1. Technical science. Rostov n/D: RSTU, 2017. pp. 284-288.
3. Jurenko K.I., Fandeev E.I., Nefedov V.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1826/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1826/).
4. Jurenko K.I., Shepilova E.G., Grechuk I.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/2452/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/2452/).
5. Yurenko K.I., Fandeev E.I. Materials Engineering and Technologies for Production and Processing, May 19-20, 2016, IEEE Xplore (Scopus); Date Added to IEEE Xplore: 27 April 2017. 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016; South Ural State University Chelyabinsk; Russian Federation. pp. 1-6.
6. Yurenko K.I., Fandeev E.I. Proceedings of 3rd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2017. Date of Conference: 16-19 May 2017; Date Added to IEEE Xplore (Scopus): 23 October; Saint Petersburg, Russia. pp. 1-5.
7. Strategija razvitija zheleznodorozhnogo transporta v Rossijskoj Federacii do 2030 goda. Oficial'nyj sajt OAO «RZhD» [Official site of JSC "RZD"]. URL: [doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE\\_ID=704&layer\\_id=5104&id=3997#5455](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=3997#5455) (data obrashhenija 15.04.2018g.)
8. D'jachkov D. Pul't upravljenija. Zhurnal dlja rukovoditelej kompanij transportnoj otrasli [Control panel. Magazine for managers of transport



companies]. URL: [pult.gudok.ru/archive/detail.php?ID=1324997](http://pult.gudok.ru/archive/detail.php?ID=1324997) (data obrashhenija: 15.04.2018).

9. Shahanov D.S., Stebljanskij N.V., Nagral'jan A.A., Bezruchko P.S. Pul't upravljenija. Zhurnal dlja rukovoditelej kompanij transportnoj otrasli [Control panel. Magazine for managers of transport companies]. URL:[pult.gudok.ru/archive/detail.php?ID=899804](http://pult.gudok.ru/archive/detail.php?ID=899804) (data obrashhenija 15.04.2018g.).

10. Harchenko P.A., Jurenko K.I. Kriterii ocenki upravljajushhej dejatel'nosti mashinista na osnove dannyh bortovyh registratorov parametrov dvizhenija. Sbornik nauchnyh trudov «Aktual'nye problemy i perspektivy razvitija transporta, promyshlennosti i jekonomiki Rossii» [Coll. Of scientific papers “Actual problems and challenge developments of the transportation, industry and Russian economy”. Volume 1. Technical science. Rostov n/D: RSTU, 2018. pp. 91-94.

11. Harchenko, P.A., Grebennikov N.V. Vestnik RSTU. 2016. №2. pp. 38-46.

12. Jarushkina N.G. Osnovy teorii nechetkih i gibridnyh system [Fundamentals of fuzzy and hybrid systems theory]. M.: Finansy i statistika, 2004. 320 p.

13. Konysheva L.K., Nazarov D.M. Osnovy teorii nechetkih mnozhestv [Fundamentals of fuzzy set theory]. SPb.: Piter, 2011. 192 p.