

## Математическая модель нечеткого управления порталльной автомобильной мойкой

*П.С. Романов<sup>1</sup>, И.П. Романова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Коломенский институт (филиал) Московского политехнического университета,  
Коломна*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский московский государственный строительный  
университет (НИУ МГСУ)*

**Аннотация:** В статье на основе анализа определены основные технические и организационные мероприятия, что позволило провести постановку задачи по совершенствованию системы управления технологическим процессом порталльной мойки автомобилей. Разработана математическая модель нечеткого управления автомойкой за счет программного регулирования подачи воды в зависимости от формы, геометрических размеров и степени загрязнения автомобиля, с целью уменьшения расхода воды и повышения энергоэффективности порталльной мойки. В качестве алгоритма нечеткого вывода предложен алгоритм Мамдани, который легко реализуется в программном продукте MATLAB на основе знаний и опыта экспертов, а также моделирования работы оператора. Формализация описания уровня подачи воды, формы, размеров и степени загрязнения автомобиля проведена при помощи лингвистических переменных, приведен их вид и описание элементов терм-множеств этих переменных. Предлагаемая математическая модель может быть использована при проектировании систем управления и другими типами автоматических автомобильных моек.

**Ключевые слова:** автомобильная мойка, математическая модель, нечеткое управление, алгоритм нечеткого вывода, лингвистическая переменная, терм-множество лингвистической переменной, базовое множество.

### Введение

Все современные предприятия, в том числе и автотранспортные предприятия (АТП), идут по пути автоматизации производства, когда все основные технологические процессы выполняются с помощью роботизированных механизмов, а человек выполняет лишь функцию оператора [1]. Не исключением является и мойка автомобилей.

К причинам перехода на автоматические мойки, в том числе и порталльные, относят [1]: отказ от неквалифицированной рабочей силы и дополнительная прибыль за счет скорости мойки; неспособность ручных моек удовлетворить растущий спрос, обусловленный увеличением числа автомобилей; рост требований к качеству предоставляемых услуг на

---

автомойках; высокая скорость мойки по сравнению с ручными мойками; рентабельность организации автомойки в небольших городах.

Но автоматические автомобильные мойки имеют ряд недостатков обусловленные их конструкцией, техническими характеристиками и возможностями применяемых технологий мойки: качество мытья зависит от индивидуальных особенностей автомобиля, от конкретных условий загрязнения. Кроме того, программы для отмыывания грязи различной степени тяжести и с разным набором дополнительной химии рассчитаны на выполнение определенных циклов со строго заданным временем работы, поэтому для повышения качества мойки приходится или повторять цикл мойки или выбирать более длительный цикл. Это связано с трудностями программной реализации всех ситуаций, возникающих при мойке автомобилей за счет традиционных математических моделей. Преодоление этих трудностей является весьма актуальной задачей.

Для ее решения в статье предлагается совершенствование управления технологическим процессом мойки провести на основе разработанной математическая модель нечеткого управления автомобильной мойкой, которая позволит за счет программных средств плавно регулировать подачу воды в зависимости от марки и степени загрязненности автомобиля, и как, следствие сократить расход воды и электроэнергии.

### **Постановка задачи и математическая модель нечеткого управления автомойкой**

В настоящее время автомобильные мойки по принципу действия и конструкции подразделяют на: ручные, порталные, туннельные, мойки самообслуживания и мобильные мойки. Надо отметить, что повышение эффективности моечного оборудования и технологии мойки подвижного состава автомобильного транспорта возможно за счет проведения различных

---

технических и организационных мероприятий, наиболее важными из которых с точки зрения управления мойкой являются [2]:

уменьшение расхода электроэнергии и особенно воды за счет совершенствования технологического процесса мойки и конструкции оборудования;

программное регулирование скорости передвижения автомобиля в зависимости от его марки и степени загрязненности;

внедрение средств автоматики и контроля работы как всей установки в целом, так и ее отдельных наиболее ответственных агрегатов, а также обеспечение оперативного слежения за качеством моечных работ.

Среди перечисленных мероприятий можно выделить два первых из них, которые можно переформулировать следующим образом:

уменьшение расхода воды и электроэнергии за счет совершенствования **управления** технологическим процессом мойки;

программное регулирование **поддачи воды** в зависимости от формы, геометрических размеров и степени загрязненности автомобиля.

Если обратить внимание на новую формулировку мероприятий, то главный акцент сделан на управление автомойкой за счет ввода дополнительного программного обеспечения в систему управления автомойкой. Предлагается за счет программных средств осуществлять **плавное регулирование поддачи воды** (а не регулирование скорости передвижения автомобиля) в зависимости от формы, размеров и степени загрязнения автомобиля, что приведет к уменьшению расхода воды и электроэнергии за счет совершенствования управления технологическим процессом мойки.

На сегодняшний день автоматические мойки предоставляют клиентам различные программы для мойки автомобилей, но при этом для всех программ мойки характерна дискретность характеристик [2].

---

Это обусловлено тем, что качество мойки зависит от индивидуальных особенностей автомобиля (формы, габаритов, конфигурации кузова, наличия труднодоступных мест и т.п.) и от конкретных условий загрязнения (степени загрязненности, типа «грязи», длительности периода после загрязнения до мойки и т.д.). Таким образом, задача исследований формулируется следующим образом.

*Постановка задачи.* Требуется усовершенствовать систему управления технологическим процессом мойки автомобилей за счет программного регулирования подачи воды в зависимости от формы, геометрических размеров и степени загрязнения автомобиля, с целью уменьшения расхода воды и повышения энергоэффективности портальной мойки.

Итак, имеет место неполнота и неточность исходных данных, т.е. присутствует неопределенность, которая затрудняет или даже исключает применение точных количественных методов и подходов для описания технологических процессов мойки. Кроме того, программы для отмыывания грязи различной степени тяжести и с разным набором дополнительной химии рассчитаны на выполнение определенных циклов со строго заданным временем работы, поэтому для повышения качества мойки приходится или повторять цикл мойки или выбирать более длительный цикл. Это связано с тем, что они в основном разработаны на основе традиционных методов построения математических моделей.

С одной стороны, традиционные методы построения моделей не приводят к удовлетворительным результатам, когда исходное описание проблемы, подлежащей решению, заведомо является неточным и неполным. С другой стороны, стремление получить исчерпывающую информацию для построения точной математической модели сложной реальной ситуации часто приводит к потере времени и средств, поскольку это в принципе невозможно [3,4].

---

Сложность реализовать на практике с помощью традиционных математических моделей все ситуации, возникающие при мойке машин, предполагает использование методов, которые специально ориентированы на построение моделей, учитывающих неполноту и неточность исходных данных, а именно, нечеткое управление, основанное на теории нечетких множеств.

Применяемая при нечетком управлении система нечеткого вывода – это процесс получения нечетких заключений о требуемом управлении объектом на основе нечетких условий или предпосылок, представляющих собой информацию о текущем состоянии объекта. Разработка и применение систем нечеткого вывода включает в себя ряд этапов, которые реализуют на базе нечеткой логики: формирование базы правил системы, фаззификация исходных данных, агрегирование подусловий, активизация подзаключений, аккумулярование заключений, дефаззификация [5]. Этапы этого вывода представлены на рис. 1.



Рис.

1. - Этапы нечеткого вывода [5]

Алгоритмы нечеткого вывода различаются главным образом видом используемых правил, логических операций и разновидностью метода дефаззификации. Хорошо известны алгоритмы нечеткого вывода: Мамдани, Сугено, Ларсена, Цукамото. Анализ этих алгоритмов показал, что для нечеткого вывода чаще всего применяется алгоритм Мамдани, что обусловлено в частности тем, что он встроен в пакет MATLAB [6,7].

Как указывается в [3,7,8], существуют четыре способа составления правил нечеткого управления, т.е. проектирования нечетких регуляторов: 1) на основе знаний и опыта эксперта; 2) путем создания модели действий оператора; 3) путем обучения; 4) на основе нечеткой модели оборудования.

В случае управления автомойкой предлагается создание дополнительного программного обеспечения на базе интегрированного программного продукта MATLAB с пакетом Fuzzy Logic Toolbox на основе знаний и опыта эксперта, а также моделирования работы оператора. Для нечеткого вывода предлагается использовать алгоритм Мамдани, по причине указанной ранее. С учетом выше изложенного сформулируем основные положения математической модели. Рассмотрим кратко алгоритм Мамдани на основе работ [5,7,9].

Формирование базы правил осуществляется в виде «IF A THEN B », где антецеденты ядер построены при помощи логических связок «И», а консеквенты ядер правил нечеткой продукции простые.

Агрегирование подусловий при помощи логической операции «И». Для двух элементарных высказываний A, B:  $T(A \cap B) = \min\{T(A); T(B)\}$ .

Активизация подзаклучений алгоритма Мамдани – это min-активизации:  $\mu(y) = \min\{c; \mu(x)\}$ , где  $\mu(x)$  – функции принадлежности термов лингвистических переменных,  $x \in X$  ( $X$  – универсальное множество); c

---

- степени истинности нечетких высказываний  $A$  и  $B$ ;  $\mu(y)$  - функции принадлежности каждого из элементарных подзаключений.

Аккумуляция подзаключений алгоритма Мамдани – это max-объединения:  $\forall x \in X, \mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x); \mu_B(x)\}$ .

Дефаззификация проводится методом центра тяжести:

$$y = \frac{\int_{\min}^{\max} x \cdot \mu(x) dx}{\int_{\min}^{\max} \mu(x) dx}.$$

Для нечеткого управления зададим показатели: «Подача воды», «Форма автомобиля», «Размер автомобиля» и «Степень загрязнения». Входной показатель «Подача воды» определяется конструктивными особенностями мойки. Показатели, влияющие на расход воды, - это «Форма автомобиля», «Размер автомобиля» и «Степень загрязнения», поэтому в правилах нечеткого вывода в качестве условий (антецедентов) выступают «Форма автомобиля», «Размер автомобиля» и «Степень загрязнения», а заключением (консеквентом) – показатель «Подача воды».

База правил системы нечеткого вывода управления подачей воды составляется на основе знаний эксперта (экспертов) и возможно моделирования действий оператора. В автомойке имеется непрерывная управляемая подача воды и непрерывный неуправляемый расход воды, который определяется параметрами автомобиля (форма, размер и степень его загрязнения). База правил системы нечеткого вывода соответствует знаниям эксперта о том, какой необходимо выбрать подачу воды, чтобы обеспечить качественную мойку автомобиля в зависимости от его формы, размеров и степени загрязнения.

Формализацию описания уровня подачи воды, формы, размеров и степени загрязнения автомобиля предлагается проводить при помощи лингвистических переменных. Пусть  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_p\}$  - множество

показателей, значениями которых описываются состояния автомойки. С учетом того, что допускается упрощенное определение лингвистической переменной в виде тройки  $\langle \beta, T, U \rangle$  [3], где  $\beta$  - название лингвистической переменной,  $T$  - ее терм-множество,  $U$  - область ее определения (базовое множество), то тогда каждый показатель  $y_i$  ( $i \in I = \overline{1, p}$ ) описывается соответствующей лингвистической переменной  $\langle y_i, T_i, U_i \rangle$ , где  $T_i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_{m_i}^i\}$  - терм-множество лингвистической переменной  $y_i$  (набор лингвистических значений показателя,  $m_i$  - число значений признака);  $U_i$  - базовое множество показателя  $y_i$ . Для описания термов  $T_j^i$  ( $j \in L = \overline{1, m_i}$ ), соответствующих значениям показателя  $y_i$ , используются нечеткие переменные  $\langle T_j^i, U_i, \tilde{C}_j^i \rangle$ , т.е. значение  $T_j^i$  описывается нечетким множеством  $\tilde{C}_j^i$  в базовом множестве  $U_i$ :  $\tilde{C}_j^i = \left\{ \mu_{\tilde{C}_j^i}(u) / u \right\}, u \in U_i$ .

При этом для показателя «Подача воды» можно задать базовое множество с учетом наименьшего и наибольшего его значения. Для показателя «Подача воды» базовое множество для легковых автомобилей  $U_I = [0; 500]$  л. Показатели «Форма автомобиля», «Размер автомобиля», «Степень загрязнения» являются качественными.

Как указывается в [9,10], нечеткие переменные качественного типа лучше задавать в виде нечетких чисел из интервала  $[0,1]$ . Поэтому значения лингвистических переменных «Форма автомобиля», «Размер автомобиля», «Степень загрязнения» предлагается задавать нечеткими числами (L-R) - типа -  $(a_t, \alpha, \beta)_{LR}$ , где  $a_t$  - среднее значение (мода) нечетких чисел, описывающих  $t$  значение  $i$ -й лингвистической переменной, а  $\alpha, \beta$  - левый и правый коэффициенты нечеткости соответственно (рис.2). Базовым множеством для них будет множество  $U = \{0; 0,1; 0,2; \dots; 1,0\}$ .



Для каждого из этих показателей приведем описание элементов  $T_j^i$  терм-множеств  $T_i$  заданы лингвистическими нечеткими множествами следующего вида:  $i=1$  («Подача воды», базовое множество  $U_1=\{0,50,100,150,200,250,300,350,400,450,500\}$ ): *ОЧЕНЬ МАЛАЯ*:  $OM=\{1,0/0; 0,65/50; 0,25/100\}$ ; *МАЛАЯ*:  $M=\{0,3/50; 0,7/100; 1,0/150; 0,5/200\}$ ; *СРЕДНЯЯ*:  $C=\{0,3/150; 0,6/200; 1,0/250; 0,7/300; 0,3/350\}$ ; *БОЛЬШАЯ*:  $B=\{0,5/350; 1,0/400; 0,4/450\}$ ; *ОЧЕНЬ БОЛЬШАЯ*:  $OB=\{0,3/400; 0,7/450; 1,0/500\}$ ;

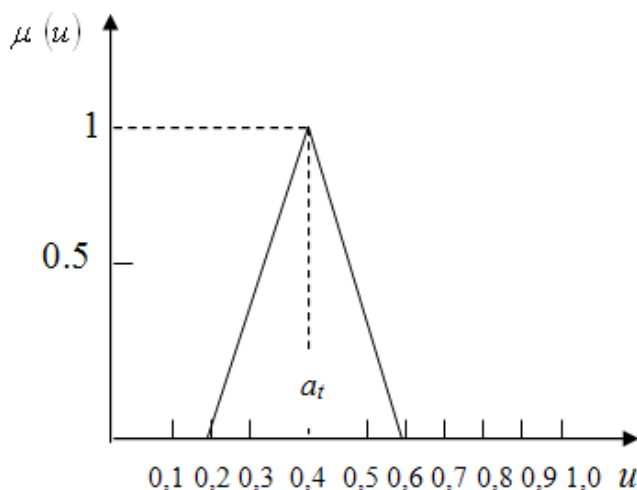


Рис.2. – Вид функции принадлежности для качественных показателей

$i=2$ : («Форма автомобиля», базовое множество  $U_2=\{0;0,1;0,2; \dots; 1,0\}$ ): *ОЧЕНЬ ПРОСТАЯ*:  $OP=\{1,0/0,1; 0,4/0,2\}$ ; *ПРОСТАЯ*:  $P=\{0,4/0,1; 1,0/0,2; 0,5/0,3\}$ ; *СРЕДНЯЯ*:  $C=\{0,4/0,3; 0,7/0,4; 1,0/0,5; 0,7/0,6; 0,4/0,7\}$ ; *СЛОЖНАЯ*:  $SL=\{0,5/0,7; 1,0/0,8; 0,5/0,9\}$ ; *ОЧЕНЬ СЛОЖНАЯ*:  $OSL=\{0,5/0,9; 1,0/1,0\}$ .

$i=3$ : («Размер автомобиля», базовая множество –  $U_3=\{0;0,1;0,2; \dots; 1,0\}$ ): *МАЛЫЙ*:  $M=\{1,0/0,1; 0,4/0,2\}$ ; *НЕБОЛЬШОЙ*:  $H=\{0,4/0,1; 1,0/0,2; 0,5/0,3\}$ ; *СРЕДНИЙ*:  $C=\{0,4/0,3; 0,7/0,4; 1,0/0,5; 0,7/0,6; 0,4/0,7\}$ ; *БОЛЬШОЙ*:  $B=\{0,5/0,7; 1,0/0,8; 0,5/0,9\}$ ; *ОЧЕНЬ БОЛЬШОЙ*:  $OB=\{0,5/0,9; 1,0/1,0\}$ .

$i=4$ : («Степень загрязнения», базовое множество  $U_4=\{0;0,1;0,2; \dots; 1,0\}$ ): *ОЧЕНЬ НИЗКАЯ*:  $OH=\{1,0/0,1; 0,4/0,2\}$ ; *НИЗКАЯ*:  $H=\{0,4/0,1; 1,0/0,2; 0,5/0,3\}$ ; *СРЕДНЯЯ*:  $C=\{0,4/0,3; 0,7/0,4; 1,0/0,5; 0,7/0,6; 0,4/0,7\}$ ; *ВЫСОКАЯ*:

$V = \{0,5/0,7; 1,0/0,8; 0,5/0,9\}$ ; *ОЧЕНЬ ВЫСОКАЯ*:  $OB = \{0,5/0,9; 1,0/1,0\}$ .

Приведем пример записи правила системы нечеткого вывода, соответствующей знаниям эксперта о том, какую необходимо выбрать подачу воды при мойке легкового автомобиля простой формы, небольшого по размеру и низкой степенью загрязнения:

ПРАВИЛО <1>: ЕСЛИ «Форма автомобиля» - простая И «Размер автомобиля» - небольшой И «Степень загрязнения» - низкая ТО «Подача воды» - малая.

В базу знаний правил заполняют правилами всевозможных сочетаний условий с соответствующими заключениями по ним. По заполнению правил, дальнейшие действия осуществляют поэтапно согласно приведенной схеме на рис.1, с учетом выбранного алгоритма нечеткого вывода, в данном случае алгоритма Мамдани. Алгоритм Мамдани применяется, т.к. он встроен в MATLAB, а для управления автомойкой предлагается создать дополнительное программное обеспечение на базе интегрированного программного продукта MATLAB с пакетом Fuzzy Logic Toolbox на основе знаний и опыта экспертов, а также моделирования работы оператора.

### **Заключение**

Для усовершенствования системы управления технологическим процессом мойки автомобилей проведена постановка задачи и разработана математическая модель нечеткого управления портальной автомойкой за счет программного регулирования подачи воды в зависимости от формы, геометрических размеров и степени загрязнения автомобиля. В качестве алгоритма нечеткого вывода предложен алгоритм Мамдани, который легко реализуется в MATLAB. Данная математическая модель может быть использована при проектировании систем управления и другими типами автоматических автомобильных моек.

## Литература

1. Прейс М.В. Проблемы организации и обеспечения качества услуг автомоечных комплексов //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. №6-1. С. 15-25.
2. Дубровский Д.А. Автомойка: с чего начать, как преуспеть. М.: Питер, 2009. 208 с.
3. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Поспелова Д.А. М.: Наука, 1986. 312 с.
4. Zavadskas E.K., Peldschus F. Fuzzy matrix games multi-criteria model for decision-making in engineering. Informatica, Vol. 16. № 1. 2005. pp. 107-120.
5. Рыбин И.А., Рубанов В.Г. Математическая модель системы управления мобильного транспортного средства //Мехатроника, автоматизация, управление. 2017. Т.18. №5. С. 333-340.
6. Степанов К.С., Панкова Н.Г. Оптимизация лабораторного практикума по электротехнике с применением системы MatLabSimulink //Инженерный вестник Дона, 2014. №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2628/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2628/).
7. Кафиев И.Р., Романов П. С., Романова И.П. К вопросу нечеткого управления электроприводами сельскохозяйственных интеллектуальных роботов //Российский электронный научный журнал, 2017. №4. URL: [journal.bsau.ru/numbe4-2017.php](http://journal.bsau.ru/numbe4-2017.php). – 12.12.2017.
8. Венцов Н.Н., Долгов В.В., Подколзина Л.А. Об одном способе построения запросов к базе данных на основе аппарата нечеткой логики //Инженерный вестник Дона, 2015. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3172/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3172/).
9. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования. Рига: Зинатне, 1990. 184с.



10. Zaden L.A. Fuzzy Algorithm// Information Control. 1968. Vol.12. №2. pp.94-102.

### References

1. Prejs M.V. Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehniceskie nauki. 2013. №6-1. pp. 15-25.

2. Dubrovskij D.A. Avtomojka: s chego nachat', kak preuspet'. [Car wash: where to start, how to succeed]. M.: Piter, 2009. 208 p.

3. Nechetkie mnozhestva v modeljah upravljenja i iskusstvennogo intellekta [Fuzzy sets in control and artificial intelligence models]. Pod red. Pospelova D.A. M.: Nauka, 1986. 312 p.

4. Zavadskas E.K., Peldschus F. Informatica, Vol. 16. № 1. 2005. pp. 107-120.

5. Rybin I.A., Rubanov V.G. Mehatronika, avtomatizacija, upravljenje. 2017. V.18. №5. pp. 333-340.

6. Stepanov K.S., Pankova N.G. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2628/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2628/).

7. Kafiev I.R., Romanov P. S., Romanova I.P. Rossijskij jelektronnyj nauchnyj zhurnal, 2017, №4 URL: [journal.bsau.ru/numbe4-2017.php](http://journal.bsau.ru/numbe4-2017.php). – 12.12.2017.

8. Vencov N.N., Dolgov V.V., Podkolzina L.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3172/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3172/).

9. Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. Prinjatie reshenij na osnove nechetkih modelej. Primery ispol'zovanija [Decision-making based on fuzzy models. Example of use]. Riga: Zinatne, 1990. 184 p.

10. Zaden L.A. Information Control. 1968. Vol.12. №2. pp.94-102.