

**НЕЧЕТКАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ УРОВНЯ  
АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ ВИБРАЦИОННОГО ПЛОТНОМЕРА**

*Представлена нечеткая система настройки уровня амплитуды колебаний вибрационного плотномера, учитывающая возможные нелинейности объекта. В данной статье предлагается система и алгоритм настройки уровня амплитуды колебаний вибрационного плотномера с использованием теории нечетких множеств. Использование методов нечеткого управления позволило получить систему настройки уровня амплитуды колебаний вибрационного плотномера без использования громоздких вычислительных процедур, характерных для классического метода управления.*

**Ключевые слова:** нечеткое множество, нечеткая система, автоматическая настройка, фазификация, дефазификация, амплитуда колебаний.

N.M. KAZIMOV, N.A. ABDULOVA, T.K. HUSEYNOV, Z.I. FARKHADOV  
Sumqayit State University, Azerbaijan

**UNCERTAIN SYSTEM OF AUTOMATIC SETTINGS OF APPLITUDE LEVEL ON VIBRATION WAVES OF  
DENSIDOMETER**

*It is presented an uncertain system of settings on level of waves' amplitude of vibration densitometer, which is considering the possible nonlinearities of the object. The article offers the system and algorithm of settings on level of waves' amplitude of vibration densitometer by using the theory of uncertain multitude. Application of methods on uncertain management is allowed to get the settings' system of level on waves' amplitude of vibration densitometer without using the wide computational procedures specific to classic method of the management.*

**Key words:** uncertain multitude, uncertain system, automatic setting, fuzzification, defuzzification, amplitude of vibration waves

**Введение**

В настоящее время для измерения плотности буровых растворов наибольшее распространение получили радиоизотопные и вибрационные измерители плотности (плотномеры). Вибрационные плотномеры благодаря большей точности измерения являются более перспективным по сравнению с радиоизотопными. При этом в виду специфической особенности бурового раствора как объекта измерения плотности – наличие твердых частиц, привело к тому, что среди вибрационных плотномеров для измерения плотности бурового раствора могут быть использованы либо вибрационно-частотные измерители плотности с трубчатыми резонаторами, совершающими крутильные колебания, либо вибрационно-амплитудные с прямыми трубчатыми резонаторами. Первый тип плотномеров хорошо изучен и серийно выпускается Феодосийским механическим заводом. Вибрационно-амплитудные измерители плотности жидкости появились еще в 60-е годы прошлого века [1]. Однако, промышленный выпуск этих плотномеров не был освоен. Проведенный анализ показал, что одной из причин этого является неприемлемая для серийного производства необходимость настройки электромагнитной системы возбуждения, основывающейся на человеческом опыте и навыках. В связи с вышесказанным, решение проблемы настройки электромагнитной системы возбуждения резонатора вибрационно-амплитудного измерителя плотности бурового раствора с использованием достижений современных информационных технологий, а именно теории нечеткого регулирования представляется актуальным.

**Цель статьи:** Целью работы является оценка возможности применения методов нечеткого управления для автоматической настройки уровня амплитуды колебаний плотномера.

**Структура нечеткой настройки**

На основе накопленной информации и качественных рассуждений по настройке зазора между полюсом возбудителя и трубки плотномера был осуществлен переход к качественному описанию объекта, основу которой составляет правила вида: «Если значение по амплитуде колебаний напряжения «очень низкое», а динамика изменения напряжения (производная напряжения) «положительная» тогда управляющим воздействием на возбудитель «продолжительность очень долгая» и «направление есть вниз» и т.д.» [2]. В качестве управляемой величины рассматривается перемещение приемника колебаний.

На рис.1 представлена упрощенная структурная схема системы автоматической настройки уровня амплитуды колебаний резонатора. На первый вход нечеткого контроллера с приемника колебаний (ПК)-3 поступает напряжение  $U$  с аналогового цифрового преобразователя-4. На второй вход нечеткого контроллера поступает производная напряжения  из вычислительного блока -5. Нечеткий контроллер включает в себя: фазификатор – 6, предназначенный для трансформации четких сигналов в нечеткие множества; таблицы лингвистических правил (ТЛП)-7 т.е. совокупность нечетких правил, описывающие нечеткие отношения между входными и выходными параметрами контроллера; дефазификатор – 8, где полученное нечеткое значение после дефазификации в виде четкого управляющего воздействия поступает на вход блока управления двигателем – 9 и на двигатель – 10.

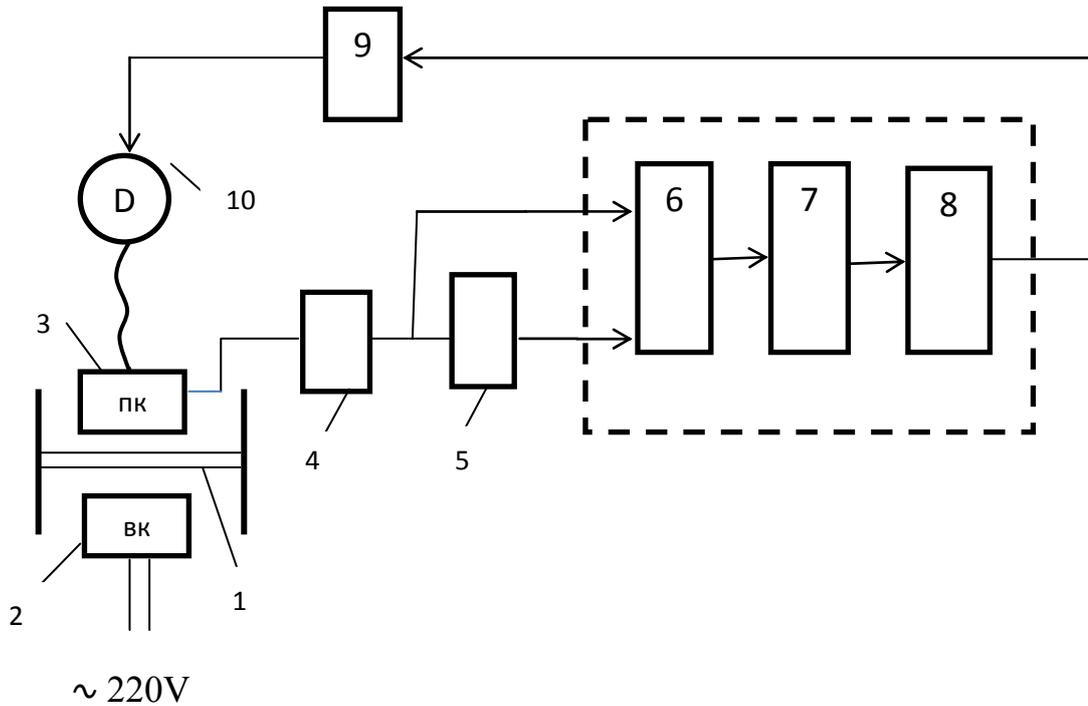


Рис.1. Структурная схема системы автоматической настройки уровня амплитуды колебаний плотнотера. 1- трубка; 2- возбудитель колебаний (ВК); 3- приемник колебаний (ПК); 4- аналоговый цифровой преобразователь (АЦП); 5- вычислительный блок направления изменения напряжения; 6- фазификатор; 7- таблица лингвистических правил (ТПП); 8- дефазификатор; 9- блок управления двигателем; 10- двигатель (Д).

#### Алгоритм функционирования нечеткой настройки

Для системы автоматической настройки в качестве нечеткого алгоритма был выбран алгоритм Мамдани. Данный алгоритм является наиболее часто применяемым на практике, т.к. очень хорошо себя зарекомендовал в ряде задач управления в режиме реального времени. Математически он может быть описан следующей последовательностью шагов [2, 3].

1. Нечеткость: находятся степени истинности для предпосылок каждого правила

$$A_1(X_0), A_2(X_0), B_1(y_0), B_2(y_0).$$

2. Нечеткий вывод: находятся уровни «отсечения» для предпосылок каждого из правил (С использованием операции min):

$$\alpha_1 = A_1(X_0) \wedge B_1(y_0), \alpha_2 = A_2(X_0) \wedge B_2(y_0)$$

где через « $\wedge$ », обозначена операция логического минимума (min), затем находятся усеченные функции принадлежности

$$C'_1 = (\alpha_1 \wedge C_1(Z)), C'_2 = (\alpha_2 \wedge C_2(Z)).$$

3. Композиция: с использованием операции max (обозначаемой как « $\vee$ ») производится объединение найденных усеченных функций, что приводит к получению итогового нечеткого подмножества для переменной выхода с функцией принадлежности

$$\mu_{\Sigma}(z) = C(z) = C'_1(z) \vee C'_2(z) = (\alpha_1 \wedge C_1(z)) \vee (\alpha_2 \wedge C_2(z))$$

4. Наконец, приведение к четкости (для нахождения  $z_0$ ) проводится например, центроидным методом:

$$z_0 = \frac{\int_{\Omega} z \mu_{\Sigma}(z) dz}{\int_{\Omega} \mu_{\Sigma}(z) dz}$$

Функции принадлежности, использованные в данной работе, были, в основном, четырех видов: треугольные, трапециевидные, S- и Z-образные. Описываются они следующими формулами:

S-образные. Задаются двумя параметрами - a, b

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & b < x \end{cases}$$

Z – образные. Задаются двумя параметрами-  $b, c$  :

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c \\ 0, & c < x \end{cases}$$

Треугольные. Задаются тремя параметрами-  $a, b, c$  :

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c \\ 0, & c < x \end{cases}$$

Трапецидальные. Задаются четырьмя параметрами-  $a, b_1, b_2, c$  :

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a, \\ \frac{x-a}{b_1-a}, & a < x < b_1 \\ 1, & b_1 < x < b_2 \\ \frac{c-x}{c-b_2}, & b_2 < x < c \\ 0, & c < x \end{cases}$$

При работе контроллера по алгоритму Мамдани в системе автоматической настройки (установки напряжения уровня амплитуды колебаний в нормируемых пределах) на вход нечеткого контроллера подавались: вычисленное значение напряжения уровня амплитуды колебаний и направление изменения напряжения. С выхода снималось направление переключения (вверх, вниз или не менять положения) и продолжительность включения электродвигателя. Все входные и выходные величины являются четкими значениями, поскольку снимаются с реальных приборов автоматики, которые выдают четкие значения измеряемых параметров. Далее, в самом контроллере, эти величины уже преобразуются к нечетким значениям. После срабатывания нечетких правил, полученные выходные переменные вновь преобразуются к четкому (нормальному) виду.

Для работы нечеткого контроллера использовались следующие лингвистические переменные:

1. На входе контроллера (входные переменные):

- **Напряжение - Voltage.** Напряжение уровня амплитуды колебаний. Нечетные значения этой лингвистической переменной следующие (рис.2): Очень низкое (Very low ) – Z- образная функция принадлежности с параметрами (0.2 0.3); Низкое (Low) - трапецидальная функция принадлежности с параметрами (0.2 0.3 0.4 0.5). Средняя (Mean) - трапецидальная функция принадлежности с параметрами(0.4 0.5 0.6 0.7); Высокое трапецидальная функция принадлежности с параметрами (0.6 0.75 0.85 0.95 ) (High) ; Очень высокое (Very High)) – S-образная функция принадлежности с параметрами (0.85 0.95);

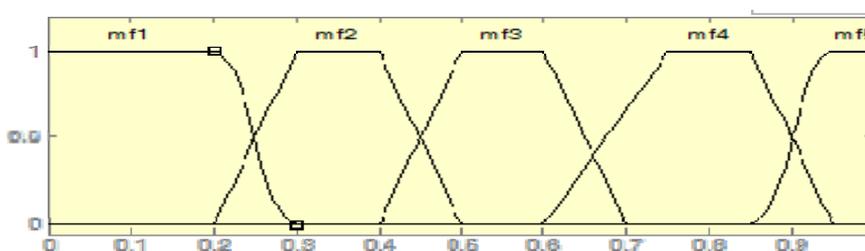


Рис.2. Нечеткие значения переменной “Напряжение”

-**Динамика-dVoltage.** Динамика изменения Напряжения (производная напряжения). Значения этой переменной (рис.3):

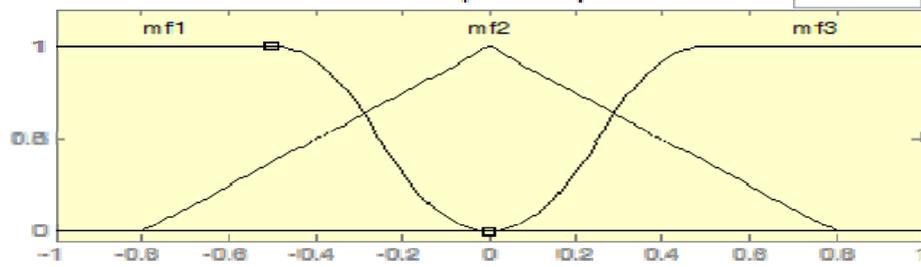


Рис. 3. Нечеткие значения переменной «Динамика»

Отрицательное (Negativ)-z-образная функция принадлежности с параметрами (-0,5 0); Нулевое (Zero)-треугольная функция принадлежности с параметрами (-0.8 0 0.8); Положительное (Positive)-S-образная функция принадлежности с параметрами (0 0.5).

2. С выхода контроллера снимались значения следующих лингвистических переменных (выходные переменные):

**Направление-Direct.** Направление следующего переключения двигателя. Значения этой переменной (рис.4): Вверх (Up)- трапецидальная функция принадлежности с параметрами (0.5 0.75 1.25 1.5); Стоп (Stay) - трапецидальная функция принадлежности с параметрами (-0.5 -0.25 0.25 0.5); Вниз (Down) трапецидальная функция принадлежности с параметрами (-1.5 -1.25 -0.75 -0.5);

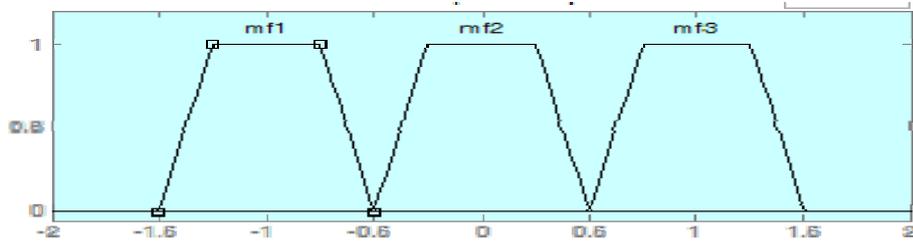


Рис.4. Значение переменной «Направление»

**Продолжительность – Duration.** Время включения электродвигателя. Нечеткие значения этой переменной (рис.5); Нулевая (Zero) - Z-образная функция принадлежности с параметрами (0.2 0.3); Короткая (Short) - трапецидальная функция принадлежности с параметрами (0.2 0.3 0.4 0.5); Средняя (Mean) - трапецидальная функция принадлежности с параметрами (0.4 0.5 0.6 0.7); Долгая (Long) - трапецидальная функция принадлежности с параметрами (0.6 0.75 0.85 0.95); Очень долгая (Very Long) – S-образная функция принадлежности с параметрами (0.85 0.95);

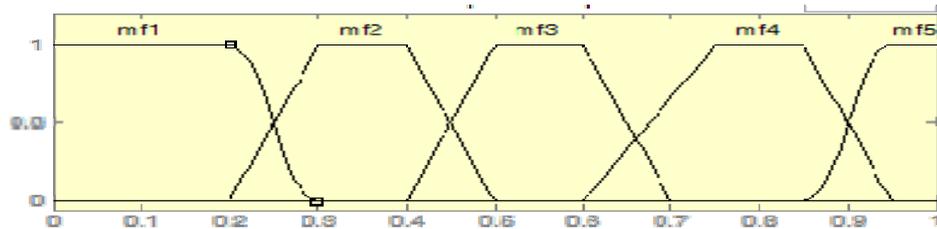


Рис.5. Значение переменной «Продолжительность»

В процессе работы были опробованы различные варианты работы контроллера. По выше приведенным переменным было составлено 15 правил нечеткого вывода для данной системы. Лингвистическая таблица правил приведена на таблице. Символы в обозначениях терминов означают:

ОН – очень низкое; Н – низкое; С- среднее; В – высокое; ОВ – очень высокое; О – отрицательное; Z – нулевое; П – положительное; ВВ - Вверх; СТ – Стоп; ВН – вниз; К – короткая; Д – долгая; ОД - Очень долгая.

Таблица 1

Таблица лингвистических правил

dU \ U	ОН	Н	С	В	ОВ
О	ВВ ОД	ВВ Д	ВВ С	ВВ К	ВВ К
Z	ВН ОД	ВН Д	ВН Д	ВН К	СТ Z
П	ВН ОД	ВН ОД	ВН Д	ВН К	ВН К

Расчетные эксперименты проведены в среде Matlab с использованием программного комплекса Fuzzy Logic Toolbox.

В процессе работы исследуемой модели были получены поверхности изменения направления следующего переключения и продолжительности времени включений электродвигателя. На рис.6 показаны поверхности изменения направления следующего переключения электродвигателя и продолжительности времени включений электродвигателя в зависимости от напряжения и ее производной. В результате анализа полученных результатов было выявлено, что нечеткий контроллер в большинстве случаев совершает меньшее количество переключений по сравнению с ручным, а также позволяет выдерживать зазор между трубкой и приемником колебаний. Это уменьшает время настройки уровня амплитуды колебаний резонатора и не предъявляет повышенные требования к точности геометрических размеров трубки. Стоит также отметить, что устройства на основе нечеткой логики обладают еще одним важным свойством - сравнительно простой расширяемостью. Добавление новых свойств, новых функциональных возможностей для таких устройств легко и несложно. Т.е. при возникновении необходимости в дополнительных функциях, возможно добавление их в работу нечеткого устройства. Устройства на основе нечеткой логики сравнительно легко и просто могут перепрограммироваться под текущие нужды. Процедура добавления новых функциональных возможностей проста и не сложна. Поэтому добавление новых функций в случае возникновения такой надобности, не представляет сложности.

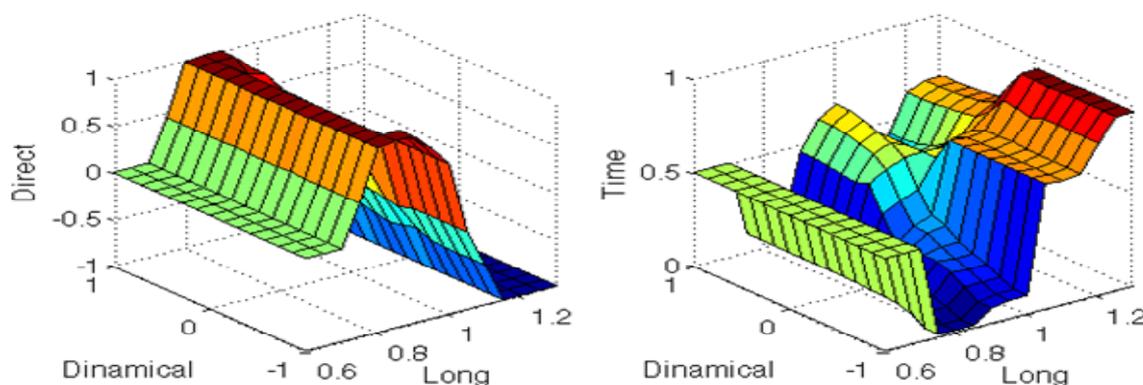


Рис. 6. Поверхностные зависимости выходных параметров от входных переменных

### Выводы

1. В результате исследований было получено, что нечеткий контроллер в большинстве случаев совершает меньшее количество переключений, по сравнению с ручным, а также позволяет выдерживать зазор между трубкой и приемником колебаний. Это приводит к уменьшению времени настройки уровня амплитуды колебаний резонатора и не предъявляет повышенные требования к точности геометрических размеров трубки.

2. Устройства на основе нечеткой логики обладают еще одним важным свойством - сравнительно простой расширяемостью. Добавление новых свойств, новых функциональных возможностей для таких устройств легко и несложно. Т.е. при возникновении необходимости в дополнительных функциях, возможно добавление их в работу нечеткого устройства. Можно утверждать, что устройства на основе нечеткой логики более предпочтительны для автоматической настройки уровня амплитуды колебаний плотномер, нежели устройства на основе обычной логики. Сама автоматическая настройка уровня амплитуды колебаний плотномер получается более качественная, количество переключений снижается.

### Литература

1. А.С.СССР №146081.Резонансный датчик для измерения плотности жидкостей. В.А.Колесников Бюллетень Изобретений-1962- №7.
2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Пер. с англ. Н.И. Ринго. Под.ред Н.М. Моисеева и С.А. Орловского. -М.: Мир, 1976,-165
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ\_Петербург, 2005. – 719 с.

### References

1. A.S.SSSR №146081.Rezonansniy datchik dlya izmereniya plotnosti jidkostey.V.A.Kolesnikov Byulleten Izobreteniy-1962- №7.
2. Zade L.Ponyatie linqvisticeskoy peremennoy I eqo primeneniye k prinyatiyu priblijennix resheniy.Per.s anql.N.I.Rinqo.Pod.red.N.M.Moisseeva i S.A.Orlovskoqo.-M.:Mir, 1976,-165
3. Leonenkov A.V. Necetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH.SPb.: BXV Peterburq, 2005. – 719 c.

Рецензія/Peer review : 13.1.2017 р.

Надрукована/Printed :1.3.2017 р.

Стаття рецензована редакційною колегією