

УДК (681.3)

DOI: [10.26102/2310-6018/2020.29.2.034](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.29.2.034)

## **Синтез нечеткого регулятора температуры греющего пара процесса вулканизации автомобильных шин в условиях потенциально опасного управления**

**Б. Яхиауи, А.А. Митрохин, В.Л. Бурковский**

*Воронежский государственный технический университет  
Воронеж, Российская Федерация*

**Аннотация:** В данной работе рассматривается технологический процесс вулканизации автомобильных шин с точки зрения потенциально опасного процесса. В настоящее время, технологические процессы становятся все более сложными, из-за их функционирования большую часть времени в условиях неопределенности, неполноты и нечеткости информации, наличия внутренних и внешних возмущений, обусловленных многими факторами, а также наличия значительного числа параметров, которые прямо или косвенно влияют на функционирование технологических процессов. Таким образом, математическое описание технологических процессов методами классического моделирования становится все более неточным. Одним из наиболее распространенных на сегодняшний день методов управления технологическими процессами по-прежнему являются ПИД-регуляторы, благодаря своим удобствам внедрения, низкой стоимости и их удовлетворительных результатов при управлении линейными системами. Для адекватного управления потенциально опасными технологическими процессами необходимо разработать новые модели и алгоритмы, основанные на новых интеллектуальных подходах. Одним из наиболее перспективных подходов к управлению технологическими процессами являются модели, основанные на нечеткой логике и нечетких множествах. В работе представлена общая математическая структура системы управления процессом вулканизации. В статье представлен синтез нечеткого регулятора температуры греющего пара процесса вулканизации автомобильных шин.

**Ключевые слова:** система нечеткого вывода (FIS), нечеткая логика, вулканизация, технологический процесс, потенциально опасные объекты.

**Для цитирования:** Яхиауи Б., Митрохин А.А., Бурковский В.Л. Синтез нечеткого регулятора температуры греющего пара процесса вулканизации автомобильных шин в условиях потенциально опасного управления. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2020;8(2). Доступно по: [https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/YahiaouiSoavtors\\_2\\_20\\_1.pdf](https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/YahiaouiSoavtors_2_20_1.pdf) DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.034

## **Synthesis of a fuzzy controller of heating steam temperature during the process of care tires vulcanization under potentially hazardous conditions**

**B. Yahiaoui, A.A. Mitrokhin, V.L Burkovsky**

*Voronezh State Technical University  
Voronezh, Russian Federation.*

**Annotation:** This paper considers the technological process of vulcanization of automobile tires from the point of view of a potentially dangerous process. Currently, technological processes are becoming more complex, evolving most of the time in conditions of uncertainty, incompleteness and indistinctness of information. One of the most common methods of process control today is still PID controllers, due to their ease of implementation, low cost and their satisfactory results in the control of linear systems. In order to adequately control potentially dangerous technological processes, it is necessary to develop

new models and algorithms based on new intelligent approaches. One of the most promising approaches to process control is models based on fuzzy logic and fuzzy sets. The paper presents the General mathematical structure of the vulcanization process control system. This paper presents the synthesis of a fuzzy controller of heating steam temperature of the car tire vulcanization process.

**Keywords:** fuzzy inference systems (FIS), fuzzy logic, vulcanization, technological process, potentially dangerous objects.

**For citation:** Yahiaoui B., Mitrokhin A.A., Burkovsky V.L Synthesis of a fuzzy controller of heating steam temperature during the process of care tires vulcanization under potentially hazardous conditions. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2020;8(2). Available from: [https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/YahiaouiSoavtors\\_2\\_20\\_1.pdf](https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/YahiaouiSoavtors_2_20_1.pdf) DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.034 (In Russ).

## Введение

В эпоху технологического бума в управлении промышленными технологическими процессами по-прежнему преобладают традиционные методы управления. Одним из наиболее распространенных на сегодняшний день методов управления технологическими процессами по-прежнему являются ПИД-регуляторы, благодаря своим удобствам внедрения, низкой стоимости и их удовлетворительных результатов при управлении линейными системами[1]. Функционирование систем управления потенциально опасными объектами становится все более сложной и комплексной задачей в силу ряда факторов, наиболее важными из которых являются :

Во-первых, сложность самих процессов чаще представляет собой все более значительный объем параметров, требуя высокой производительности, требующей очень высокого уровня управления.

Во-вторых, построение систем автоматического управления современными технологическими процессами с помощью традиционных моделей и алгоритмов управления основано на математическом моделировании поведения процессов, хотя следует отметить, что математическое описание этих процессов затруднено из-за наличия внутренних и внешних возмущений а также их функционирование в неопределенных, нечетких или неполных условиях.

Процесс вулканизации автомобильных шин считается потенциально опасным технологическим процессом.

Это приводит к выводу, что для эффективного управления таких процессов необходимо разработать другие революционные методы и подходы, обеспечивающие более адекватный контроль. Один из современных подходов к замене или улучшению управления технологических процессов основан на методах искусственного интеллекта, таких как нечеткая логика, нейронные сети, генетические алгоритмы и т.д.

В этой работе предлагается синтез нечеткого регулятора на основе нечетких множеств и нечеткой логики.

## Система нечеткого вывода (FIS) и нечеткая логика

Системы нечеткого вывода (FIS) являются одним из наиболее известных приложений нечеткой логики и теории нечетких множеств [2]. Они могут быть полезны для достижения автономного моделирования и диагностики процессов, инструментов поддержки принятия решений и управления процессом.

Нечеткая логика ближе к человеческому мышлению и естественному языку, чем обычные классическая логика [3]. Классическая теория управления основана на математических моделях, описывающих рассматриваемый физический объект. Сущность нечеткого управления заключается в построении модели человека-эксперта,

способного управлять предприятием без мышления в терминах математической модели. Нечеткие системы очень полезны в двух общих контекстах: в ситуациях, связанных с очень сложными системами, поведение которых не совсем понятно, и в ситуациях, когда требуется приблизительное, но быстрое решение.

Сила систем нечеткого вывода (FIS) зависит от их двойной специфики : с одной стороны, они способны обрабатывать лингвистические понятия; с другой стороны, они являются универсальными аппроксиматорами, способными выполнять нелинейные отображения между входами и выходами.

Ниже перечислены некоторые особенности нечетких систем вывода (FIS):

- Блок фаззификации поддерживает применение многочисленных методов фаззификации и преобразует четкий вход в нечеткий вход.
- База знаний включает в себя базу правил, и базу данных, и формируется при преобразовании четкого входного сигнала в нечеткий входной сигнал.
- Блок дефаззификации обеспечивает преобразование нечетких значений, полученных с помощью фаззификация, в интерпретируемые четкие значения.

На (Рисунок 1) представлена общая структура системы нечеткого вывода (FIS) :

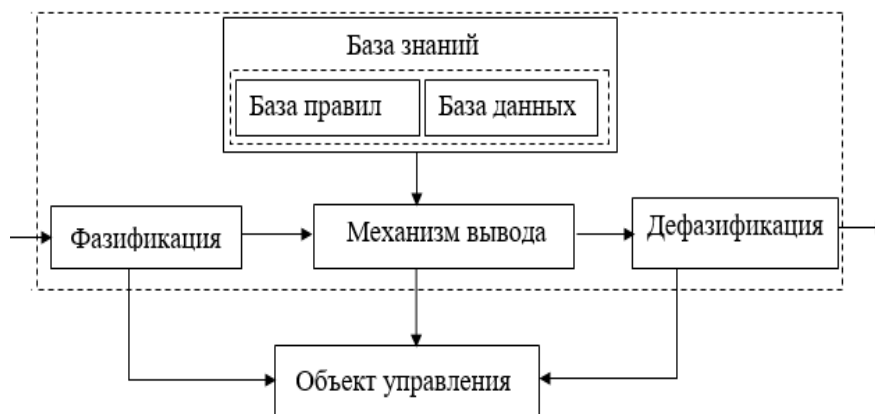


Рисунок 1. Системы нечеткого вывода (FIS)

Figure 1. Fuzzy inference systems (FIS)

### Математическая модель и основные параметры процесса

Общее представление переменных процессов вулканизации автомобильных шин описано в общем виде объекта управления[4].

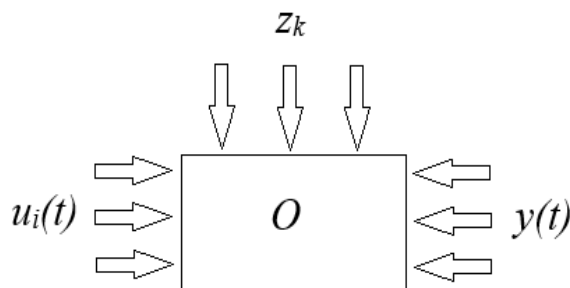


Рисунок 2. Структура объекта управления и воздействия

Figure 2. Structure of the object of control and influences

На (Рисунок 2) представлена структурная схема объекта управления и воздействия, где

- $O$  — это объект управления
- $u_i$  — управляющие воздействия  
 $u_i \in U, i = \overline{1, m_i}$
- $z_k$  — возмущающие воздействия  
 $z_k \in Z, k = \overline{1, n}$
- $y_j$  — выходные величины  
 $y_j \in Y, j = \overline{1, m_j}$

Таким образом, общее состояние функционирования объекта управления представлено в виде следующего вектора :

$$\vec{y}(t) = F_s(\vec{u}, \vec{z}, t)$$

Основываясь на структуре математической модели, представленной выше, вводятся входные параметры ( $U$ ) и выходные параметры ( $Y$ ), а также параметры возмущения ( $Z$ )

- входные параметры ( $U$ )
  - температура контейнера ;
  - температура плиты пресс-формы
  - внутреннее давления пара в контейнере
- выходные параметры ( $Y$ )
  - температура греющего пара в процессе
  - давление греющего пара в процессе
  -
- параметры возмущения ( $Z$ )
  - изменение температуры греющего пара в контейнере.
  - изменение давления греющего пара в контейнере.

### Синтез нечеткого регулятора

Применение нечеткой системы вывода в управлении потенциально опасными технологическими процессами, такими как процесс вулканизации автомобильных шин, позволяет разработать более эффективную модель, позволяющую ей работать в условиях неопределенности, обеспечивая при этом более надежные результаты управления по сравнению с результатами, полученными при применении обычных моделей управления.

В этой работе в качестве примера берется синтез нечеткого регулятора одного из объектов регулирования процесса вулканизации, представляющего собой клапан подачи греющего пара в контуре внешнего нагрева. Регулирующий клапан меняет размер отверстия для пропуска пара в внешний контур нагрева, чтобы поддерживать внутреннюю температуру пресс-формы в пределах стандартных значений.

Лингвистические переменные выбираются экспертом в соответствии с определенными количественными соображениями. К лингвистическим значениям вводятся степени принадлежности, полученные назначенными им функциями принадлежности. Степень принадлежности лингвистических переменных колеблется от 0 до 1.

Создание базы данных системы нечеткого вывода начинается с выбора входных и выходных параметров процесса.

В этой работе, выбираются две входные переменные и одна выходная переменная. Первая входная переменная соответствует внутренней температуре пресс-формы

«internal mold temperature», требуемая нормативная температура пресс-формы составляет  $T_n = 174^\circ\text{C}$ , а её допустимое отклонение составляет  $dT_{\max} = \pm 2^\circ\text{C}$ . Вторая входная переменная - отклонение внутренней температуры пресс-формы от регламентированного значения «mold internal temperature deviation». Выбранный выход процесса - это процент открытия регулирующего клапана «percentage of control valve opening».

Лингвистические значения, определенные для внутренней температуры пресс-формы «internal mold temperature» :

$$\langle \langle \text{internal mold temperature} \rangle, T_t, X_t \rangle,$$

где

$T_t = \{ \langle \text{significantly less than normal} \rangle, \langle \text{less than normal} \rangle, \langle \text{slightly less than normal} \rangle, \langle \text{in norm} \rangle, \langle \text{slightly more than normal} \rangle, \langle \text{more than normal} \rangle, \langle \text{significantly more than normal} \rangle \}$ ,  
 $X_t = \{ T_n - dT_{\max}, T_n - 0,75dT_{\max}, T_n - 0,5dT_{\max}, T_n - 0,25dT_{\max}, 0, T_n + 0,25dT_{\max}, T_n + 0,5dT_{\max}, T_n + 0,75dT_{\max}, T_n + dT_{\max} \}$ . таким образом, результаты, полученные после фаззификации лингвистических значений лингвистической переменной «internal mold temperature», представлены в графе на (Рисунок 3).

Лингвистические значения, определенные для отклонения внутренней температуры пресс-формы от регламентированного значения «mold internal temperature deviation» :

$$O_p = \{ \langle \text{negative} \rangle, \langle \text{zero} \rangle, \langle \text{positive} \rangle \}.$$

Таким образом, результаты, полученные после фаззификации лингвистических значений лингвистической переменной «mold internal temperature deviation», представлены в графе на (Рисунок 4).

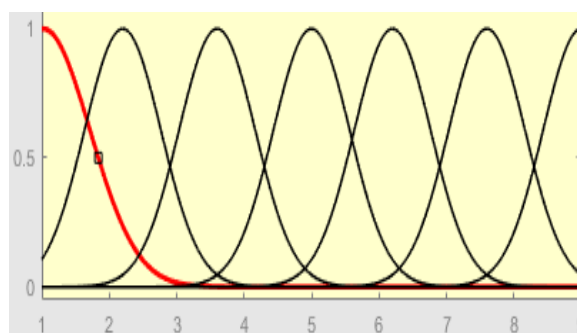


Рисунок 3. Графическое представление функций принадлежности входной переменной «internal mold temperature»

Figure 3. Graphical representation of the membership functions of the input variable «internal mold temperature»

Лингвистические значения, определенные для отклонения внутренней температуры пресс-формы от регламентированного значения «mold internal temperature deviation» :

$$O_p = \{ \langle \text{negative} \rangle, \langle \text{zero} \rangle, \langle \text{positive} \rangle \}.$$

Таким образом, результаты, полученные после фаззификации лингвистических значений лингвистической переменной «mold internal temperature deviation», представлены в графе на (Рисунок 4).

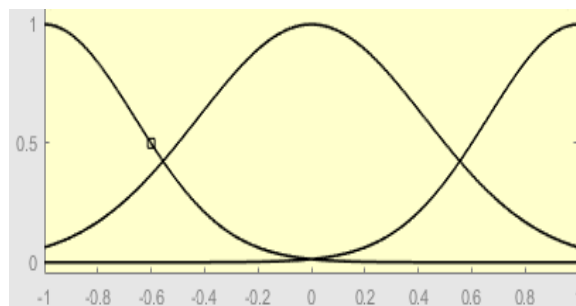


Рисунок 4. Графическое представление функций принадлежности входной переменной «mold internal temperature deviation»

Figure 4. Graphical representation of the membership functions of the input variable «mold internal temperature deviation»

Лингвистические значения, определенные для процента открытия регулирующего клапана «percentage of control valve opening» :

$D_v = \{ \text{«equal to zero»}, \text{«minimum»}, \text{«nominal»}, \text{«average»}, \text{«maximum»} \}.$

Таким образом, результаты, полученные после фаззификации лингвистических значений лингвистической переменной «percentage of control valve opening», представлены в графе на (Рисунок 5).

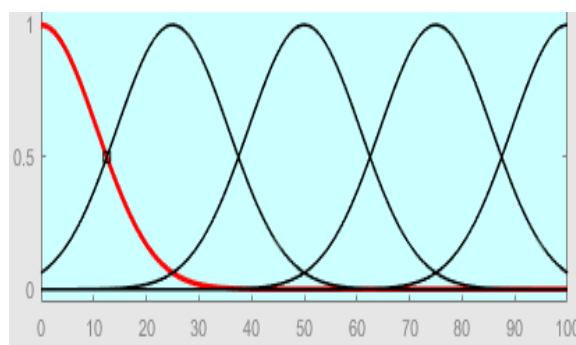


Рисунок 5. Графическое представление функций принадлежности выходной переменной «percentage of control valve opening»

Figure 5. Graphical representation of the membership functions of the output variable «percentage of control valve opening»

После определения функций принадлежности всех лингвистических переменных необходимо создать базу правил, основанную на опыте эксперта. Определение базы правил формулируется таким образом :

If (лингвистическая переменная соответствующего ввода) is (лингвистическое значение соответствующего ввода) and (другая входная лингвистическая переменная) is (соответствующее лингвистическое значение) then (лингвистическое значение желаемого лингвистического переменной вывода)

Одинаковые правила объединяются. Правила, которые не изменяются при изменении входов и выходов, объединяются.

После формулирования базы правил придется вычисление степени принадлежности активированных выходных лингвистических значений в каждом правиле. Далее идет агрегация степеней принадлежности активированных лингвистических значений одной и той же лингвистической переменной, полученных при ее активации в нескольких правил. Затем придёт этап дефаззификации.

Дефаззификация - это процесс получения единичного значения на выходе агрегированного нечеткого множества путем преобразования результатов нечеткого вывода в четкий вывод. Другими словами, дефаззификация реализуется алгоритмом принятия решений, который выбирает наилучшее четкое значение на основе нечеткого множества. Существует несколько форм дефаззификации, включая методы центра тяжести (COG), среднего максимума (MOM) и среднего центра. Метод (COG) возвращает значение центра области под кривой, а подход MOM можно рассматривать как точку, в которой на кривой достигается равновесие.

### Заключение

Предлагаемый в этой работе нечеткий регулятор для контроля внутренней температуры пресс-формы процесса вулканизации дает более приемлемые результаты по сравнению с применением обычных методов регулирования, таких как PI, PID регуляторы. Анализируя литературу, а также различные исследования по применению нечеткой логики в управлении технологическими промышленными процессами, можно сделать вывод о том, что применение этой отрасли искусственного интеллекта в управлении и прогнозировании технологических процессов дает высокие результаты, особенно когда обрабатываемая информация является неопределенной, нечеткой или неполной.

Таким образом, применение нечетких автоматических систем применительно к управлению потенциально опасными технологическими процессами, а именно процесс вулканизации автомобильных шин имеет высокий потенциал для развития.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ткалич С.А., Пивоваров В.П., Бурковский В.Л. *Модели принятия решений в системах управления потенциально – опасными производствами*. Вестник Воронежского государственного технического университета. 2014;10(5-1):129-132.
2. Zadeh L.A. *Fuzzy sets*. Information and Control. 1965;8:338–353.
3. Яхиауи Б., Митрохин А.А., Бурковский В.Л. *Модель управления и прогнозирования качества продукции в условиях потенциально опасного процесса вулканизация автомобильных шин*. Моделирование, оптимизация, и информационные технологии. 2019;7(3).
4. Митрохин А.А., Яхиауи Б., Бурковский В.Л. *Интеллектуализация процессов принятия решений в условиях потенциально опасных технологических процессов*. НТ-2019, Воронеж.2019:135-139.

### REFERENCES

1. Tkalich S.A., Pivovarov V.P., Burkovsky V.L. *Decision-making Models in control systems for potentially dangerous industries*. Bulletin of the Voronezh state technical University. 2014;10(5-1):129-132.
2. Zadeh L.A. *Fuzzy sets*. Information and Control. 1965;8:338-353.
3. Yahiaoui B., Mitrokhin A.A, Burkovsky V.L. *Model of management and forecasting of product quality in the conditions of potentially dangerous process of vulcanization of automobile tires*. Modeling, optimization, and information technology. 2019;7(3).
4. Mitrokhin A.A., Yahiaoui B., Burkovsky V.L. *Intellectualization of decision-making processes in conditions of potentially dangerous technological processes*. NT-2019. Voronezh. 2019:135-139.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Яхиауи Букхалфа**, аспирант, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация.,  
*e-mail:* [bou93yah@gmail.com](mailto:bou93yah@gmail.com)

**Yahiaoui Boukhalfa**, Graduate student, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation.

**Митрохин Алексей Александрович**, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация.,  
*e-mail:* [alekseymitrohin@yandex.ru](mailto:alekseymitrohin@yandex.ru)

**Митрохин Алексей Александрович**, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация

**Бурковский Виктор Леонидович** д.т.н., профессор, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация,  
*e-mail:* [bvl@vorstu.ru](mailto:bvl@vorstu.ru)

**Бурковский Виктор Леонидович** д.т.н., профессор, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация,  
*e-mail:* [bvl@vorstu.ru](mailto:bvl@vorstu.ru)