УДК 6252

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ БРОДИЛЬНОГО ОТДЕЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

PROCESS CONTROL SYSTEM OF A FERMENTATION UNIT BASED ON A FUZZY CONTROLLER

Е.А. Муравьева, Э.Р. Еникеева, Ф.Ф. Абдрафикова

Уфимский государственный нефтяной технический университет, филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация

Elena A. Muravyova, Elza R. Enikeeva, Filyuza F. Abdrafikova

Ufa State Petroleum Technological University, Branch, Sterlitamak, Russian Federation

Аннотация. В статье представлена разработка системы управления технологическим процессом бродильного отделения на основе нечеткого регулятора. Объектом управления являются бродильные чаны, находящиеся на территории Акционерного общества «Башспирт», где осуществляется процесс сбраживания осахаренного сусла производственными дрожжами. Поставлена задача усовершенствования сбраживания системы управления процессом осахаренного сусла производственными дрожжамии путем замены устаревшей системы управления на более новую и современную. В связи с этим спроектирована система нечетких регуляторов для управления технологическим процессом бродильного отделения, способная производить управление двенадцатью выходными параметрами: положение клапанов для подачи сусла в шесть бродильных чанов и подачи производственных дрожжей бродильных Двенадцать управляющих чанов отделения. выходных



параметров осуществляют управление семью входными параметрами: уровнем заполнения возбраживателя, уровнем заполнения шести бродильных чанов. Регулирование выходных параметров осуществляется на основе полученной информации с входных датчиков уровня сусла и производственных дрожжей.

Разработан алгоритм управления, моделирование осуществлено с использованием интерактивной среды для программирования, численных расчетов и визуализации в MATLAB.

Разработка программы для программируемого логического контроллера Modicon M340 и его подключение произведены с помощью программной среды для разработки и программирования Schneider Electric Unity Pro. Создание интерфейса для автоматического управления процессом электролиза произведено посредством интегрированной SCADA-системы Vijeo Citect.

Внедрение автоматической системы управления, учитывающей основные параметры многосвязанного объекта и способной производить управление всем технологическим процессом бродильного отделения, позволило решить задачи стабилизации входных параметров и управления выходными параметрами процесса.

Abstract. In this paper, a process control system for a fermentation unit on the basis of a fuzzy controller has been developed. The objects under controlare fermentation tanks located at Bashspirt Joint-Stock Company, where the process of saccharified must fermentation by production yeast is carried out. The task was to improve the process of fermentation of saccharified wort by production yeast and replace the outdated control system with a newer and more modern one. In this regard, a fuzzy controller system has been designed to controlling the process of fermentation unit capable of controlling the following twelve output parameters: valve position for supplying wort to the six fermentation tanks and for supplying production yeast to the six fermentation tanks. The twelve control output parameters control the following seven input parameters:



the fill level of the fermentor, the fill level of the six fermentation tanks. The output parameters are controlled on the basis of the obtained information from the wort and production yeast input level sensors.

A control algorithm has been developed. Its simulation is carried out using MATLAB interactive environment for programming, numerical calculations and visualization.

The program code for the programmable logic controller Modicon M340 and its connection are made using Schneider Electric Unity Pro software environment for development and programming. The interface for the automatic control of the electrolysis process is created through the integrated Vijeo Citect SCADA system.

The introduction of an automatic control system that takes into account the basic parameters of a multi-connected object and is capable of controlling the entire process of the fermentation unit allowed to solve the following problem posed: stabilization of the input parameters and control of the output process parameters.

Ключевые слова: бродильное отделение; автоматизация; нечеткий регулятор; алгоритм управления; концептуальная модель; разработка системы управления

Key words: fermentation unit; automation; fuzzy controller; control algorithm; conceptual model; development of a control system

Одной из крупных технически развитых отраслей является спиртовое производство. Бродильное отделение характеризуется технологическими процессами, протекающими непрерывно-поточному ПО методу. Бродильное отделение предназначено для ведения работ процесса сбраживания осахаренного сусла производственными дрожжами чанах [1]. Это объясняется их сложностью, бродильных чувствительностью к нарушению режима и вредностью условий работ.



Целесообразность и актуальность использования бродильных чанов заключается в том, что с их помощью завод получает зрелую бражку, которая необходима при производстве этилового спирта.

Исследование технологического процесса, определение факторов, влияющих на него, установление новых способов использования процессов бродильного отделения в промышленных условиях продолжается и на сегодняшний день. Многие факторы еще не понятны, а детали требуют доработки [2, 3].

Первоочередные задачи — усовершенствовать процесс бродильного отделения, чтобы производство было наиболее выгодным, с наименьшими затратами электроэнергии и с наибольшим выходом продукции. При этом необходимо учитывать различные факторы, влияющие на количество и качество продуктов бродильных чанов: поддержание, контроль и регулирование входных и выходных параметров данной установки.

Объектом управления являются бродильные чаны, находящиеся на территории Акционерного общества «Башспирт», где осуществляется процесс сбраживания осахаренного сусла производственными дрожжами.

На сегодняшний день за правильной работой бродильного отделения непрерывно следит оператор.

Главной целью системы управления (СУ) процессом является поддержание оптимального уровня сусла и производственных дрожжей определённой величины в заданных аппаратчиками пределах.

В связи с этим необходимо заменить устаревшую СУ на более новую и современную, которая улучшит качество продукции, приведет к снижению затрат на производство и себестоимости продукции, а также обеспечит безопасность работников производства.

1. Порядок заполнения бродильных чанов

Готовые засевные дрожжи из дрожжевого отделения подаются в возбраживатель, который расположен в бродильном отделении. Объем



возбраживателя составляет 120 м³, фактическая наполненность 80 м³. Дрожжи необходимо подавать в каждый бродильный чан. Наполнение возбраживателя дрожжами для каждого последующего бродильного чана производится в то время, пока предыдущий бродильный чан заполняется суслом.

В бродильном отделении установлен следующий порядок заполнения бродильных чанов (рисунок 1).

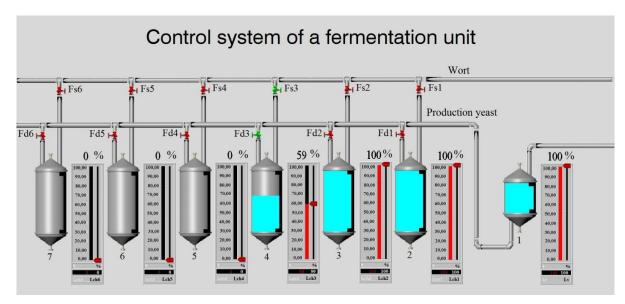
- 1. Открыть клапан (F_{s1}) на первом чане (2) и начать его заполнение суслом.
- 2. После заполнения конуса первого чана (2) суслом, открыть клапан (F_{d1}) и скачать одновременно с суслом весь объем готовых производственных дрожжей из возбраживателя (1) (L_v) .
- 3. После заполнения (L_{ch1}) первого чана (2), закрыть клапан (F_{s1}), открыть клапан (F_{s2}) на подачу сусла в следующий второй чан (3). После заполнения конуса второго чана (3), открыть клапан (F_{d2}) и скачать одновременно с суслом весь объем готовых производственных дрожжей из возбраживателя (1) (L_v).
- 4. Заполнение следующих четырех оставшихся чанов (4-7) осуществить аналогично предыдущим двум чанам (2, 3).

Однако при преждевременном открытии любого из клапанов (F_{s1} - F_{s6} , F_{d1} - F_{d6}) происходит сбой процесса, что может привести к аварийным ситуациям и выводу бродильного чана из строя. Чтобы работа бродильного отделения шла ритмично и непрерывно, необходимо поддерживать уровень заполнения бродильных чанов постоянным и регулировать открытие клапанов для подачи сусла (F_{s1} - F_{s6}) и производственных дрожжей Классические ПИД-регуляторы, которые $(F_{d1}-F_{d6}).$ наиболее часто используются ДЛЯ управления технологическими процессами, предназначены для регулирования многосвязной системы управления, учитывающей взаимосвязи параметров технологического процесса.



Для решения данной проблемы в проекте поставлена задача разработки многомерной системы управления, учитывающей взаимосвязи технологических параметров, с использованием нечеткой логики [4–8].

На рисунке 1 изображен графический экран системы управления бродильного отделения.



- 1 возбраживатель;
- 2-7 первый-шестой бродильные чаны;

 F_{s1} – F_{s6} – клапаны для подачи сусла в первый–шестой бродильные чаны;

 F_{d1} – F_{d6} – клапаны для подачи производственных дрожжей

в первый-шестой бродильные чаны;

 $L_{ch1}-L_{ch6}$ – уровень заполнения первого-шестого бродильных чанов;

L_v– уровень заполнения возбраживателя

Рисунок 1. Графический экран системы управления бродильным отделением

2. Концептуальная модель нечеткого регулятора

Концептуальная модель нечеткого регулятора (FC1), управляющего ходом технологического процессазаполнения первого бродильного чана в бродильном отделении, представлена на рисунке 2.

Концептуальная модель нечеткого регулятора (FC2), управляющего ходом технологического процессазаполнения второго бродильного чана в бродильном отделении, представлена на рисунке 3.



Для третьего—шестого бродильных чанов концептуальная модель аналогична концептуальной модели второго бродильного чана.

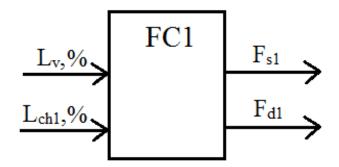


Рисунок 2. Концептуальная модель системы управления первым бродильным чаном на базе нечеткого регулятора

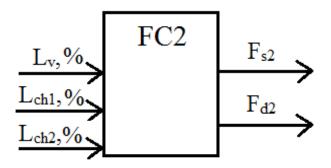


Рисунок 3. Концептуальная модель системы управления вторым бродильным чаном на базе нечеткого регулятора

В системе управления данным процессом необходимо учесть следующие входные и выходные переменные технологического процесса заполнения бродильного чана.

Входные переменные:

- 1) уровень заполнения возбраживателя L_v , 0–100 %;
- 2) уровень заполнения первого—шестого бродильных чанов L_{ch1} — L_{ch6} , 0–100 %.

Выходные переменные:

- 1) положение клапана для подачи сусла в первый—шестой бродильные чаны – F_{s1} – F_{s6} , (0;1);
- 2) положение клапана для подачи производственных дрожжей в первый–шестой бродильные чаны F_{d1} – F_{d6} , (0;1).



Для определения положения клапанов для подачи сусла и производственных дрожжей в бродильные чаны необходимо знать: положение клапанов всех чанов для подачи сусла и производственных дрожжей, уровень заполнения в возбраживателе и уровень заполнения во всех бродильных чанах. Для этого в систему управления необходимо подать сигнал с датчиков уровня, расположенных на каждом из чанов 2–7 и на возбраживателе *1* (рисунок 1).

Концептуальная модель системы нечетких регуляторов (FC1-FC6), управляющих ходом технологического процесса в бродильном отделении представлена на рисунке 4.

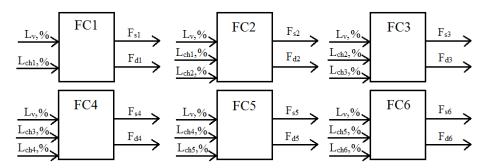


Рисунок 4. Концептуальная модель управления бродильным отделением на базе системы нечетких регуляторов

Значения перечисленных переменных используются для управления технологическим процессом в бродильном отделении. Алгоритм управления процессом заполнения бродильных чанов и учет зависимости переменных процесса опишем базой продукционных правил с использованием лингвистических переменных.

3. Описание лингвистических переменных

Лингвистические переменные входов и выходов нечеткого регулятора описываются диапазоном четких значений и функциями принадлежности для каждого терма.

Зададим следующие лингвистические переменные.

Входные переменные:



- 1) Уровень заполнения возбраживателя L_v = 0-100 %
- $(L_{\rm v})_1$ «Уровень заполнения возбраживателя = Пустой», где $L_{\rm v1}$ = 0 %;
- $(L_v)_2$ «Уровень заполнения возбраживателя = Производственные дрожжи», где $0 < (L_v)_2 < 100$ %;
- $(L_{\rm v})_3$ «Уровень заполнения возбраживателя» = Полный, где $L_{\rm v3}$ = 100 %.
 - 2) Уровень заполнения бродильных чанов L_{chl} – L_{ch6} = 0–100 %
- $(L_{ch1})_1$ – $(L_{ch6})_1$ «Уровень заполнения первого–шестого бродильных чанов = Пустой», где $(L_{ch1})_1$ – $(L_{ch6})_1$ = 0 %;
- $(L_{ch1})_2$ – $(L_{ch6})_2$ «Уровень заполнения первого–шестого бродильных чанов = Сусло», где 0 % < $(L_{ch1})_2$ – $(L_{ch6})_2$ < 20 %;
- $(L_{ch1})_3$ — $(L_{ch6})_3$ «Уровень заполнения первого—шестого бродильных чанов = Сусло с производственными дрожжами», где $18 < (L_{ch1})_3$ — $(L_{ch6})_3 < 100$ %;
- $(L_{ch1})_4$ – $(L_{ch6})_4$ «Уровень заполнения первого–шестого бродильных чанов = Полный», где $(L_{ch1})_4$ – $(L_{ch6})_4$ = 100 %.

Выходные переменные:

- 1) Положение клапана для подачи сусла в первый–шестой бродильные чаны F_{s1} – F_{s6} = (0;1).
- $(F_{s1})_1$ – $(F_{s6})_1$ «Положение клапана для подачи сусла в первый–шестой бродильные чаны = Закрыт», где $(F_{s1})_1$ – $(F_{s6})_1$ = 0;
- $(F_{s1})_2$ — $(F_{s6})_2$ «Положение клапана для подачи сусла в первый—шестой бродильные чаны = Открыт», где $(F_{s1})_2$ — $(F_{s6})_2$ = 1.
- 2) Положение клапана для подачи производственных дрожжей в первый–шестой бродильные чаны F_{d1} – F_{d6} = (0; 1).
- $(F_{d1})_1$ – $(F_{d6})_1$ «Положение клапана для подачи производственных дрожжей в первый–шестой бродильные чаны = Закрыт», где $(F_{d1})_1$ – $(F_{d6})_1$ = 0;



 $(F_{d1})_2$ — $(F_{d6})_2$ — «Положение клапана для подачи производственных дрожжей в первый — шестой бродильные чаны = Открыт», где $(F_{d1})_2$ — $(F_{d6})_2$ = 1.

Для разработки алгоритма нечетких регуляторов зададим базу правил:

FC1:

- 1. Если L_v = Пустой И L_{ch1} = Пустой, ТО F_{s1} = Закрыт И F_{d1} = Закрыт «Если L_v = $(L_v)_1$ И L_{ch1} = $(L_{ch1})_1$, ТО F_{s1} = $(F_{s1})_1$ И F_{d1} = $(F_{d1})_1$ »
- 2. Если $L_{\rm v}=$ Производственные дрожжи ${\rm ИL_{ch1}}=$ Пустой, ТО $F_{\rm s1}=$ Открыт И $F_{\rm d1}=$ Закрыт

«Если
$$L_v = (L_v)_2$$
 И $L_{ch1} = (L_{ch1})_1$, ТО $F_{s1} = (F_{s1})_2$ И $F_{d1} = (F_{d1})_1$ »

- 3. Если L_v = Полный И L_{ch1} = Пустой, ТО F_{s1} = Открыт И F_{d1} = Закрыт «Если L_v = $(L_v)_3$ И L_{ch1} = $(L_{ch1})_1$, ТО F_{s1} = $(F_{s1})_2$ И F_{d1} = $(F_{d1})_1$ »

«Если
$$L_v = (L_v)_2$$
 И $L_{ch1} = (L_{ch1})_2$, ТО $F_{s1} = (F_{s1})_2$ И $F_{d1} = (F_{d1})_1$ »

- 5. Если L_v = Полный И L_{ch1} = Сусло, ТО F_{s1} = Открыт И F_{d1} = Закрыт «Если L_v = $(L_v)_3$ И L_{ch1} = $(L_{ch1})_2$, ТО F_{s1} = $(F_{s1})_2$ И F_{d1} = $(F_{d1})_1$ »
- 6. Если $L_v = \Pi$ олный И $L_{ch1} = C$ усло с производственными дрожжами, $TO \; F_{s1} = O$ ткрыт И $F_{d1} = O$ ткрыт

«Если
$$L_v = (L_v)_3$$
 И $L_{ch1} = (L_{ch1})_3$, ТО $F_{s1} = (F_{s1})_2$ И $F_{d1} = (F_{d1})_2$ »

7. Если $L_v = \Pi$ устой И $L_{ch1} = C$ усло с производственными дрожжами, $TO \ F_{s1} = O$ ткрыт И $F_{d1} = 3$ акрыт

«Если
$$L_v = (L_v)_1$$
 И $L_{ch1} = (L_{ch1})_3$, ТО $F_{s1} = (F_{s1})_2$ И $F_{d1} = (F_{d1})_1$ »

8. Если $L_{\rm v}=$ Производственные дрожжи $\text{ИL}_{\text{ch}1}=$ Полный, TO $F_{\text{s}1}=$ Закрыт $\text{И }F_{\text{d}1}=$ Закрыт

«Если
$$L_v = (L_v)_2$$
 И $L_{ch1} = (L_{ch1})_4$, ТО $F_{s1} = (F_{s1})_1$ И $F_{d1} = (F_{d1})_1$ »

FC2:

1. Если $L_{\rm v}=$ Пустой И $L_{\rm ch1}=$ Полный И $L_{\rm ch2}=$ Пустой, ТО $F_{\rm s2}=$ Закрыт И $F_{\rm d2}=$ Закрыт



«Если $L_v=(L_v)_1$ И $L_{ch1}=(L_{ch1})_4$ И $L_{ch2}=(L_{ch2})_1$, ТО $F_{s2}=(F_{s2})_1$ И $F_{d2}=(F_{d2})_1$ »

2. Если L_v = Производственные дрожжи UL_{ch1} = Полный UL_{ch2} = Пустой, ТО F_{s2} = Открыт UL_{d2} = Закрыт

«Если $L_v=(L_v)_2$ И $L_{ch1}=(L_{ch1})_4$ И $L_{ch2}=(L_{ch2})_1$, ТО $F_{s2}=(F_{s2})_2$ И $F_{d2}=(F_{d2})_1$ »

3. Если $L_v=$ Полный И $L_{ch1}=$ Полный И $L_{ch2}=$ Пустой, ТО $F_{s2}=$ Открыт И $F_{d2}=$ Закрыт

«Если $L_v=(L_v)_3$ И $L_{ch1}=(L_{ch1})_4$ И $L_{ch2}=(L_{ch2})_1$, ТО $F_{s2}=(F_{s2})_2$ И $F_{d2}=(F_{d2})_1$ »

«Если $L_v=(L_v)_2$ И $L_{ch1}=(L_{ch1})_4$ И $L_{ch2}=(L_{ch2})_2$, ТО $F_{s2}=(F_{s2})_2$ И $F_{d2}=(F_{d2})_1$ »

5. Если $L_v =$ Полный $U L_{ch1} =$ Полный $U L_{ch2} =$ Сусло, TO $F_{s2} =$ Открыт $U F_{d2} =$ Закрыт

«Если $L_v=(L_v)_3$ И $L_{ch1}=(L_{ch1})_4$ И $L_{ch2}=(L_{ch2})_2$, ТО $F_{s2}=(F_{s2})_2$ И $F_{d2}=(F_{d2})_1$ »

6. Если $L_v = Полный И <math>L_{ch1} = Полный И L_{ch2} = Сусло с$ производственными дрожжами, ТО $F_{s2} = Открыт И F_{d2} = Открыт$

«Если $L_v=(L_v)_3$ И $L_{ch1}=(L_{ch1})_4$ И $L_{ch2}=(L_{ch2})_3$, ТО $F_{s2}=(F_{s2})_2$ И $F_{d2}=(F_{d2})_2$ »

7. Если $L_v = \Pi$ устой И $L_{ch1} = \Pi$ олный И $L_{ch2} = C$ усло с производственными дрожжами, ТО $F_{s2} = O$ ткрыт И $F_{d2} = 3$ акрыт

«Если $L_v=(L_v)_1$ И $L_{ch1}=(L_{ch1})_4$ И $L_{ch2}=(L_{ch2})_3$, ТО $F_{s2}=(F_{s2})_2$ И $F_{d2}=(F_{d2})_1$ »

«Если $L_v=(L_v)_2$ И $L_{ch1}=(L_{ch1})_4$ И $L_{ch2}=(L_{ch2})_4$, ТО $F_{s2}=(F_{s2})_1$ И $F_{d2}=(F_{d2})_1$ »



FC3:

- 1. Если $L_v=$ Пустой И $L_{ch2}=$ Полный И $L_{ch3}=$ Пустой, ТО $F_{s3}=$ Закрыт И $F_{d3}=$ Закрыт
- «Если $L_v=(L_v)_1$ И $L_{ch2}=(L_{ch2})_4$ И $L_{ch3}=(L_{ch3})_1$, ТО $F_{s3}=(F_{s3})_1$ И $F_{d3}=(F_{d3})_1$ »
- 2. Если L_v = Производственные дрожжи $ИL_{ch2}$ = Полный II L_{ch3} = Пустой, ТО F_{s3} = Открыт II F_{d3} = Закрыт

«Если $L_v=(L_v)_2$ И $L_{ch2}=(L_{ch2})_4$ И $L_{ch3}=(L_{ch3})_1$, ТО $F_{s3}=(F_{s3})_2$ И $F_{d3}=(F_{d3})_1$ »

3. Если $L_v=$ Полный И $L_{ch2}=$ Полный И $L_{ch3}=$ Пустой, ТО $F_{s3}=$ Открыт И $F_{d3}=$ Закрыт

«Если $L_v=(L_v)_3$ И $L_{ch2}=(L_{ch2})_4$ И $L_{ch3}=(L_{ch3})_1$, ТО $F_{s3}=(F_{s3})_2$ И $F_{d3}=(F_{d3})_1$ »

«Если $L_v=(L_v)_2$ И $L_{ch2}=(L_{ch2})_4$ И $L_{ch3}=(L_{ch3})_2$, ТО $F_{s3}=(F_{s3})_2$ И $F_{d3}=(F_{d3})_1$ »

5. Если $L_v=$ Полный И $L_{ch2}=$ Полный И $L_{ch3}=$ Сусло, ТО $F_{s3}=$ Открыт И $F_{d3}=$ Закрыт

«Если $L_v=(L_v)_3$ И $L_{ch2}=(L_{ch2})_4$ И $L_{ch3}=(L_{ch3})_2$, ТО $F_{s3}=(F_{s3})_2$ И $F_{d3}=(F_{d3})_1$ »

6. Если $L_v = Полный И <math>L_{ch2} = Полный И L_{ch3} = Сусло с$ производственными дрожжами, ТО $F_{s3} = Открыт И F_{d3} = Открыт$

«Если $L_v=(L_v)_3$ И $L_{ch2}=(L_{ch2})_4$ И $L_{ch3}=(L_{ch3})_3$, ТО $F_{s3}=(F_{s3})_2$ И $F_{d3}=(F_{d3})_2$ »

7. Если $L_v = \Pi$ устой И $L_{ch2} = \Pi$ олный И $L_{ch3} = C$ усло с производственными дрожжами, ТО $F_{s3} = O$ ткрыт И $F_{d3} = 3$ акрыт

«Если $L_v=(L_v)_1$ И $L_{ch2}=(L_{ch2})_4$ И $L_{ch3}=(L_{ch3})_3$, ТО $F_{s3}=(F_{s3})_2$ И $F_{d3}=(F_{d3})_1$ »



8. Если $L_v=$ Производственные дрожжи $ИL_{ch2}=$ Полный U $L_{ch3}=$ Полный, ТО $F_{s3}=$ Закрыт U $F_{d3}=$ Закрыт

«Если $L_v=(L_v)_2$ И $L_{ch2}=(L_{ch2})_4$ И $L_{ch3}=(L_{ch3})_4$, ТО $F_{s3}=(F_{s3})_1$ И $F_{d3}=(F_{d3})_1$ »

FC4:

1. Если $L_v=$ Пустой И $L_{ch3}=$ Полный И $L_{ch4}=$ Пустой, ТО $F_{s4}=$ Закрыт И $F_{d4}=$ Закрыт

«Если $L_v=(L_v)_1$ И $L_{ch3}=(L_{ch3})_4$ И $L_{ch4}=(L_{ch4})_1$, ТО $F_{s4}=(F_{s4})_1$ И $F_{d4}=(F_{d4})_1$ »

2. Если L_v = Производственные дрожжи UL_{ch3} = Полный U L_{ch4} = Пустой, ТО F_{s4} = Открыт U F_{d4} = Закрыт

«Если $L_v=(L_v)_2$ И $L_{ch3}=(L_{ch3})_4$ И $L_{ch4}=(L_{ch4})_1$, ТО $F_{s4}=(F_{s4})_2$ И $F_{d4}=(F_{d4})_1$ »

3. Если $L_{\rm v}=$ Полный И $L_{\rm ch3}=$ Полный И $L_{\rm ch4}=$ Пустой, ТО $F_{\rm s4}=$ Открыт И $F_{\rm d4}=$ Закрыт

«Если $L_v=(L_v)_3$ И $L_{ch3}=(L_{ch3})_4$ И $L_{ch4}=(L_{ch4})_1$, ТО $F_{s4}=(F_{s4})_2$ И $F_{d4}=(F_{d4})_1$ »

4. Если $L_v=$ Производственные дрожжи $UL_{ch3}=$ Полный $UL_{ch4}=$ Сусло, ТО $F_{s4}=$ Открыт $UE_{d4}=$ Закрыт

«Если $L_v=(L_v)_2$ И $L_{ch3}=(L_{ch3})_4$ И $L_{ch4}=(L_{ch4})_2$, ТО $F_{s4}=(F_{s4})_2$ И $F_{d4}=(F_{d4})_1$ »

5. Если $L_v =$ Полный $U L_{ch3} =$ Полный $U L_{ch4} =$ Сусло, TO $F_{s4} =$ Открыт $U F_{d4} =$ Закрыт

«Если $L_v=(L_v)_3$ И $L_{ch3}=(L_{ch3})_4$ И $L_{ch4}=(L_{ch4})_2$, ТО $F_{s4}=(F_{s4})_2$ И $F_{d4}=(F_{d4})_1$ »

6. Если $L_{\rm v}=$ Полный И $L_{\rm ch3}=$ Полный И $L_{\rm ch4}=$ Сусло с производственными дрожжами, ТО $F_{\rm s4}=$ Открыт И $F_{\rm d4}=$ Открыт

«Если $L_v=(L_v)_3$ И $L_{ch3}=(L_{ch3})_4$ И $L_{ch4}=(L_{ch4})_3$, ТО $F_{s4}=(F_{s4})_2$ И $F_{d4}=(F_{d4})_2$ »



7. Если $L_{\rm v}=$ Пустой И $L_{\rm ch3}=$ Полный И $L_{\rm ch4}=$ Сусло с производственными дрожжами, ТО $F_{\rm s4}=$ Открыт И $F_{\rm d4}=$ Закрыт

«Если $L_v=(L_v)_1$ И $L_{ch3}=(L_{ch3})_4$ И $L_{ch4}=(L_{ch4})_3$, ТО $F_{s4}=(F_{s4})_2$ И $F_{d4}=(F_{d4})_1$ »

8. Если $L_v=$ Производственные дрожжи $UL_{ch3}=$ Полный $UL_{ch4}=$ Полный, TO $F_{s4}=$ Закрыт U $F_{d4}=$ Закрыт

«Если $L_v=(L_v)_2$ И $L_{ch3}=(L_{ch3})_4$ И $L_{ch4}=(L_{ch4})_4$, ТО $F_{s4}=(F_{s4})_1$ И $F_{d4}=(F_{d4})_1$ »

FC5:

1. Если $L_{\rm v}=$ Пустой И $L_{\rm ch4}=$ Полный И $L_{\rm ch5}=$ Пустой, ТО $F_{\rm s5}=$ Закрыт И $F_{\rm d5}=$ Закрыт

«Если $L_v=(L_v)_1$ И $L_{ch4}=(L_{ch4})_4$ И $L_{ch5}=(L_{ch5})_1$, ТО $F_{s5}=(F_{s5})_1$ И $F_{d5}=(F_{d5})_1$ »

2. Если $L_{\rm v}=$ Производственные дрожжи $UL_{\rm ch4}=$ Полный $UL_{\rm ch5}=$ Пустой, ТО $F_{\rm s5}=$ Открыт $UE_{\rm d5}=$ Закрыт

«Если $L_v=(L_v)_2$ И $L_{ch4}=(L_{ch4})_4$ И $L_{ch5}=(L_{ch5})_1$, ТО $F_{s5}=(F_{s5})_2$ И $F_{d5}=(F_{d5})_1$ »

3. Если $L_v=$ Полный И $L_{ch4}=$ Полный И $L_{ch5}=$ Пустой, ТО $F_{s5}=$ Открыт И $F_{d5}=$ Закрыт

«Если $L_v=(L_v)_3$ И $L_{ch4}=(L_{ch4})_4$ И $L_{ch5}=(L_{ch5})_1$, ТО $F_{s5}=(F_{s5})_2$ И $F_{d5}=(F_{d5})_1$ »

«Если $L_v=(L_v)_2$ И $L_{ch4}=(L_{ch4})_4$ И $L_{ch5}=(L_{ch5})_2$, ТО $F_{s5}=(F_{s5})_2$ И $F_{d5}=(F_{d5})_1$ »

«Если $L_v=(L_v)_3$ И $L_{ch4}=(L_{ch4})_4$ И $L_{ch5}=(L_{ch5})_2$, ТО $F_{s5}=(F_{s5})_2$ И $F_{d5}=(F_{d5})_1$ »



6. Если $L_v = Полный И <math>L_{ch4} = Полный И L_{ch5} = Сусло с$ производственными дрожжами, ТО $F_{s5} = Открыт И F_{d5} = Открыт$

«Если $L_v=(L_v)_3$ И $L_{ch4}=(L_{ch4})_4$ И $L_{ch5}=(L_{ch5})_3$, ТО $F_{s5}=(F_{s5})_2$ И $F_{d5}=(F_{d5})_2$ »

7. Если $L_v = \Pi$ устой И $L_{ch4} = \Pi$ олный И $L_{ch5} = C$ усло с производственными дрожжами, ТО $F_{s5} = O$ ткрыт И $F_{d5} = 3$ акрыт

«Если $L_v=(L_v)_1$ И $L_{ch4}=(L_{ch4})_4$ И $L_{ch5}=(L_{ch5})_3$, ТО $F_{s5}=(F_{s5})_2$ И $F_{d5}=(F_{d5})_1$ »

8. Если $L_v=$ Производственные дрожжи $UL_{ch4}=$ Полный $UL_{ch5}=$ Полный, TO $F_{s4}=$ Закрыт U $F_{d5}=$ Закрыт

«Если $L_v=(L_v)_2$ И $L_{ch4}=(L_{ch4})_4$ И $L_{ch5}=(L_{ch5})_4$, ТО $F_{s5}=(F_{s5})_1$ И $F_{d5}=(F_{d5})_1$ »

FC6:

1. Если $L_v = \Pi$ устой И $L_{ch5} = \Pi$ олный И $L_{ch6} = \Pi$ устой, ТО $F_{s6} = 3$ акрыт И $F_{d6} = 3$ акрыт

«Если $L_v=(L_v)_1$ И $L_{ch5}=(L_{ch5})_4$ И $L_{ch6}=(L_{ch6})_1$, ТО $F_{s6}=(F_{s6})_1$ И $F_{d6}=(F_{d6})_1$ »

«Если $L_v=(L_v)_2$ И $L_{ch5}=(L_{ch5})_4$ И $L_{ch6}=(L_{ch6})_1$, ТО $F_{s6}=(F_{s6})_2$ И $F_{d6}=(F_{d6})_1$ »

3. Если $L_v = \Pi$ олный И $L_{ch5} = \Pi$ олный И $L_{ch6} = \Pi$ устой, ТО $F_{s6} = O$ ткрыт И $F_{d6} = 3$ акрыт

«Если $L_v=(L_v)_3$ И $L_{ch5}=(L_{ch5})_4$ И $L_{ch6}=(L_{ch6})_1$, ТО $F_{s6}=(F_{s6})_2$ И $F_{d6}=(F_{d6})_1$ »

«Если $L_v=(L_v)_2$ И $L_{ch5}=(L_{ch5})_4$ И $L_{ch6}=(L_{ch6})_2$, ТО $F_{s6}=(F_{s6})_2$ И $F_{d6}=(F_{d6})_1$ »



- 5. Если $L_{\rm v}=$ Полный И $L_{\rm ch5}=$ Полный И $L_{\rm ch6}=$ Сусло, ТО $F_{\rm s6}=$ Открыт И $F_{\rm d6}=$ Закрыт
- «Если $L_v=(L_v)_3$ И $L_{ch5}=(L_{ch5})_4$ И $L_{ch6}=(L_{ch6})_2$, ТО $F_{s6}=(F_{s6})_2$ И $F_{d6}=(F_{d6})_1$ »
- 6. Если $L_v = Полный И <math>L_{ch5} = Полный И L_{ch6} = Сусло с$ производственными дрожжами, ТО $F_{s6} = Открыт И F_{d6} = Открыт$
- «Если $L_v=(L_v)_3$ И $L_{ch5}=(L_{ch5})_4$ И $L_{ch6}=(L_{ch6})_3$, ТО $F_{s6}=(F_{s6})_2$ И $F_{d6}=(F_{d6})_2$ »
- 7. Если $L_v = \Pi$ устой И $L_{ch5} = \Pi$ олный И $L_{ch6} = C$ усло с производственными дрожжами, ТО $F_{s6} = O$ ткрыт И $F_{d6} = 3$ акрыт
- «Если $L_v=(L_v)_1$ И $L_{ch5}=(L_{ch5})_4$ И $L_{ch6}=(L_{ch6})_3$, ТО $F_{s6}=(F_{s6})_2$ И $F_{d6}=(F_{d6})_1$ »
- 8. Если $L_v=$ Производственные дрожжи $UL_{ch5}=$ Полный U $L_{ch6}=$ Полный, ТО $F_{s6}=$ Закрыт U $F_{d6}=$ Закрыт
- «Если $L_v=(L_v)_2$ И $L_{ch5}=(L_{ch5})_4$ И $L_{ch6}=(L_{ch6})_4$, ТО $F_{s6}=(F_{s6})_1$ И $F_{d6}=(F_{d6})_1$ »

4. Алгоритм управления процессом заполнения чанов в бродильном отделении

Процесс заполнения чанов в бродильном отделении (рисунок 1) осуществляется по следующему алгоритму.

- 1. Процесс заполнения бродильных чанов запускает оператор нажатием кнопки на открытие клапана F_{s1} первого бродильного чана (2) (рисунок 1). После открытия клапана F_{s1} , первый бродильный чан (2) начинает заполняться суслом.
- 2. После заполнения конуса первого бродильного чана (2) суслом, то есть когда датчик уровня L_{ch1} первого чана (2) покажет значение 20 %, откроется клапан F_{d1} первого бродильного чана (2). Начнется процесс скачивания готовых производственных дрожжей из возбраживателя (1) одновременно с подачей сусла. Скачивание производственных дрожжей в



каждый из чанов начинается только после наполнения возбраживателя (1) до уровня 100 %, то есть клапан F_{d1} первого бродильного чана (2) откроется только в том случае, когда показание датчика уровня L_v возбраживателя (1) достигнет значения 100 %, а датчик уровня L_{ch1} первого бродильного чана (2) покажет значение 20 %.

- 3. Когда датчик уровня L_v возбраживателя (1) покажет значение 0 %, происходит закрытие клапана F_{d1} первого бродильного чана (2) для подачи производственных дрожжей из возбраживателя (1).
- 4. После того, как датчик уровня L_{ch1} первого бродильного чана (2) покажет значение 100 %, клапан F_{s1} первого чана (2) закроется и произойдет открытие клапана F_{s2} второго бродильного чана (3) для подачи сусла. Клапан F_{s2} второго бродильного чана (3) для подачи сусла не будет открыт, пока показание датчика уровня L_{ch1} первого чана не достигнет значения 100 %. Только при этих условиях, откроется клапан F_{s2} и начнется процесс заполнения суслом второго бродильного чана (3).
- 5. После заполнения конуса второго бродильного чана (3) суслом, то есть когда датчик уровня L_{ch2} второго чана (3) покажет значение 20 %, откроется клапан F_{d2} второго бродильного чана (3). Начнется процесс скачивания готовых производственных дрожжей из возбраживателя (1) одновременно с подачей сусла. Скачивание производственных дрожжей в каждый из чанов начинается только после наполнения возбраживателя (1) до уровня 100 %, то есть клапан F_{d2} второго бродильного чана (3) откроется только в том случае, когда показание датчика уровня L_v возбраживателя (1) достигнет значения 100 %, а датчик уровня L_{ch2} второго бродильного чана (3) покажет значение 20 %.
- 6. Когда датчик уровня L_v возбраживателя (1) покажет значение 0 %, происходит закрытие клапана F_{d2} второго бродильного чана (3) для подачи производственных дрожжей из возбраживателя (1).
- 7. После того, как датчик уровня L_{ch2} второго бродильного чана (3) покажет значение 100 %, клапан F_{s2} второго чана (3) закроется, и



произойдет открытие клапана F_{s3} третьего бродильного чана (4) для подачи сусла. Клапан F_{s3} третьего бродильного чана (4) для подачи сусла не будет открыт, пока показание датчика уровня L_{ch2} второго чана не достигнет значения 100 %. Только при этих условиях, откроется клапан F_{s3} и начнется процесс заполнения суслом третьего бродильного чана (4).

8. Процесс заполнения следующих четырех оставшихся чанов (4–7) осуществляется аналогично процессу заполнения второго бродильного чана (3).

5. Реализация нечеткой логики в Matlab

Для моделирования СУ бродильным отделением необходимо в FuzzyInferenceSystemEditor (FISEditor) задать входные и выходные переменные. В качестве алгоритма для нечетких регуляторов, управляющих бродильными чанами (2–7) и возбраживателем (1), выбран алгоритм Sugeno.

Нечеткий регулятор для первого бродильного чана имеет 2 входные переменные: уровень заполнения возбраживателя Lv и уровень заполнения первого бродильного чана Lch1 и 2 выходные переменные: положение клапана для подачи сусла в первый бродильный чан Fs1 и положение клапана для подачи производственных дрожжей в первый бродильный чан Fd1.

На рисунке 5 изображена структура нечеткого регулятора для первого бродильного чана, реализованная в Matlab.

Нечеткий регулятор для второго бродильного чана имеет 3 входные переменные: уровень заполнения возбраживателя L_v , уровень заполнения первого бродильного чана L_{ch1} и уровень заполнения второго бродильного чана L_{ch2} 2 выходные переменные: положение клапана для подачи сусла во второй бродильный чан F_{s2} и положение клапана для подачи производственных дрожжей во второй бродильный чан F_{d2} .



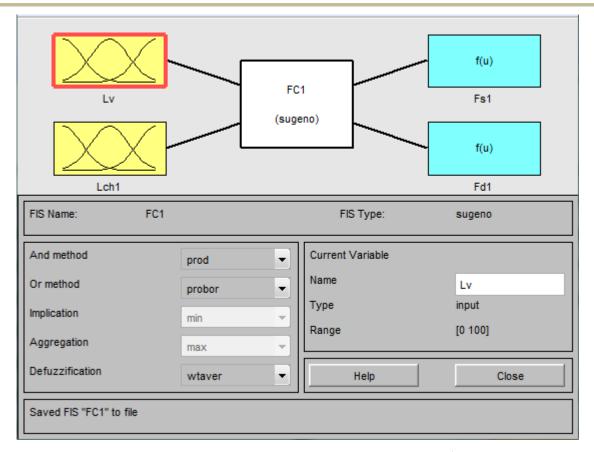


Рисунок 5. Модель нечеткого регулятора для первого бродильного чана

На рисунке 6 изображена структура нечеткого регулятора для второго бродильного чана, реализованная в Matlab. Аналогично создается структура нечетких регуляторов для управления третьим—шестым бродильными чанами.

После ввода входных и выходных переменных, необходимо указать лингвистические переменные для каждого параметра.

На рисунке 7 изображена лингвистическая переменная для входной переменной в первом бродильном чане — уровень заполнения возбраживателя L_v . Задано 3 терма:

- $1. (L_v)_1$ type «trimf», params [0 0 0], вид прямая линия;
- 2. $(L_v)_2$ type «trimf», params [0 50 100], вид треугольник;
- 3. $(L_v)_3$ type «trimf», params [0 100 100], вид прямая линия.



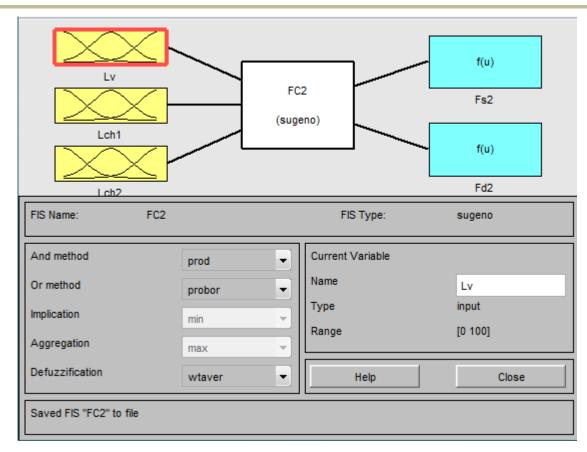


Рисунок 6. Модель нечеткого регулятора для второго бродильного чана

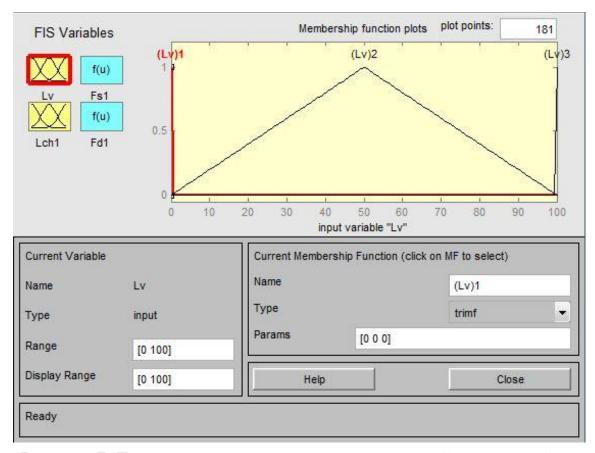


Рисунок 7. Лингвистическая переменная для входной переменной L_v в первом бродильном чане



На рисунке 8 изображена лингвистическая переменная для входной переменной в первом бродильном чане — уровень заполнения компонентами Lch1 в первом бродильном чане. Задано 4 терма:

- 1. (Lch1)1 type «trimf», params [0 0 0], вид прямая линия;
- 2. (Lch1)2 type «trimf», params [0 10 20], вид треугольник;
- 3. (Lch1)3 type «trimf», params [18 59 100], вид треугольник;
- 4. (Lch1)4 type «trimf», params [100 100 100], вид прямая линий.

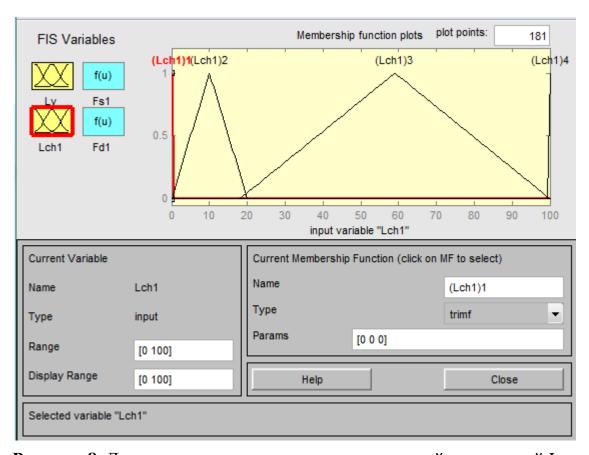


Рисунок 8. Лингвистическая переменная для входной переменной L_{ch1} в первом бродильном чане

На рисунке 9 изображена лингвистическая переменная для выходной переменной в первом бродильном чане — положение клапана для подачи сусла Fs1 в первом бродильном чане. Задано 2 терма:

- 1. (Fs1)1 type «constant», params [0], вид переменная;
- 2. (Fs1)2 type «constant», params [1], вид переменная.



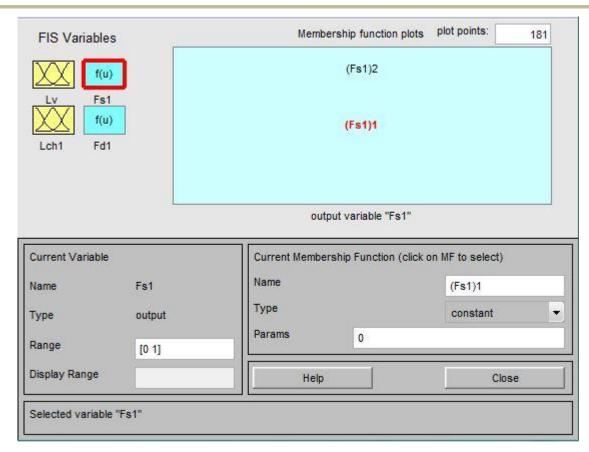


Рисунок 9. Лингвистическая переменная для выходной переменной F_{s1} в первом бродильном чане

На рисунке 10 изображена лингвистическая переменная для выходной переменной в первом бродильном чане — положение клапана для производственных дрожжей F_{d1} в первом бродильном чане.

Задано 2 терма:

- $1. (F_{d1})_1$ type «constant», params [0], вид переменная;
- $2. (F_{d1})_2$ type «constant», params [1], вид переменная.



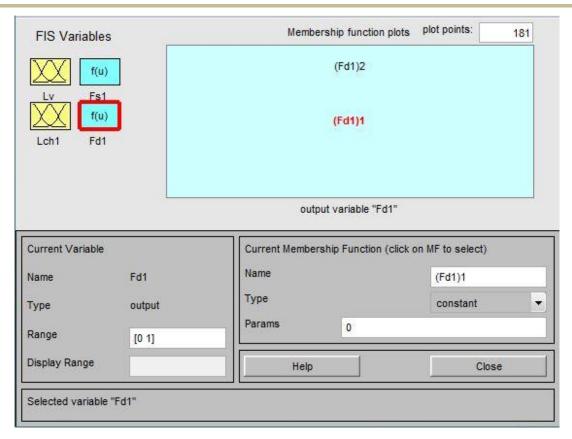


Рисунок 10. Лингвистическая переменная для выходной переменной F_{d1} в первом бродильном чане

Для входных и выходных переменных во втором—шестом бродильных чанах аналогичные лингвистические переменные. Также для второго—шестого бродильных чанов введена еще одна входная переменная в соответствии с концептуальной моделью (рисунок 4).

На рисунке 11 изображена лингвистическая переменная для входной переменной во втором бродильном чане — уровень заполнения компонентами L_{ch2} во втором бродильном чане. Задано 4 терма:

- $1. (L_{ch2})_1$ type «trimf», params [0 0 0], вид прямая линия;
- 2. $(L_{ch2})_2$ type «trimf», params [0 10 20], вид треугольник;
- $3. (L_{ch2})_3$ type «trimf», params [18 50 100], вид треугольник;
- 4. $(L_{ch2})_4$ type «trimf», params [100 100 100], вид прямая линий.



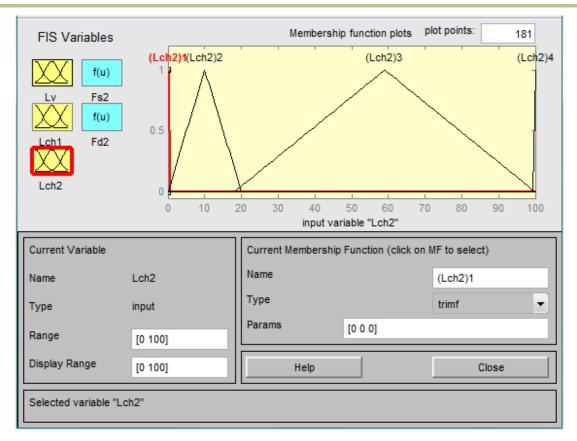


Рисунок 11. Лингвистическая переменная для входной переменной L_{ch2} во втором бродильном чане

Аналогичная переменная вводится для третьего—шестого бродильных чанов в соответствии с концептуальной моделью (рисунок 4).

Для создания базы правил использован блок правил RuleEditor. Набор правил для реализации нечеткого регулятора в первом бродильном чане в Matlab изображен на рисунке 12.

На рисунке 13 изображен набор правил для реализации нечеткого регулятора во втором бродильном чане в Matlab. Аналогично второму бродильному чану создается набор правил для третьего — шестого бродильных чанов.



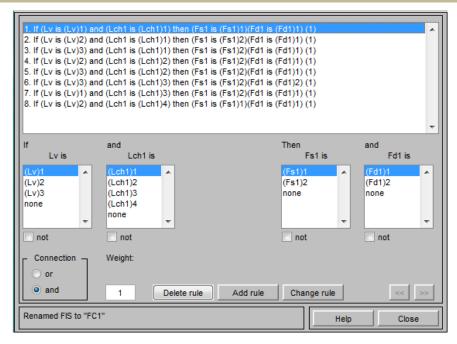


Рисунок 12. База правил для разработки алгоритма нечеткого регулятора в первом бродильном чане

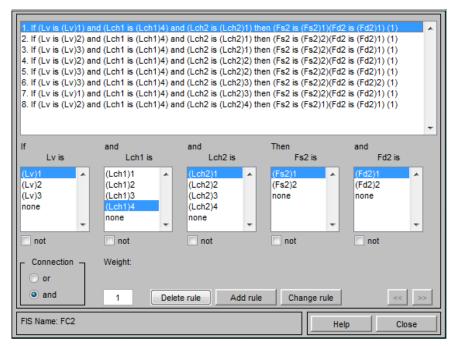


Рисунок 13. База правил для разработки алгоритма нечеткого регулятора во втором бродильном чане

6. Моделирование разработанной нечеткой системы управления

Просмотр проекта осуществляется при нажатии кнопки Rules в контекстном меню программы. При открытии проверяется правильность проекта путем ввода входных переменных в окно Input.



Для моделирования разработанной нечеткой системы управления в первом бродильном чане используем следующие переменные: $L_v = 100~\%$, $L_{ch1} = 59~\%$.

После ввода входных переменных будет работать правило 6:

Если $L_v = \Pi$ олный И $L_{ch1} =$ Сусло с производственными дрожжами, ТО $F_{s1} =$ Открыт И $F_{d1} =$ Открыт

«Если
$$L_v = (L_v)_3$$
 И $L_{ch1} = (L_{ch1})_3$, ТО $F_{s1} = (F_{s1})_2$ И $F_{d1} = (F_{d1})_2$ »

Таким образом, положение клапанов первого бродильного чана для подачи сусла и производственных дрожжей составляет: $F_{s1} = 1$, $F_{d1} = 1$.

На рисунке 14 изображен результат моделирования нечеткого регулятора для первого бродильного чана.

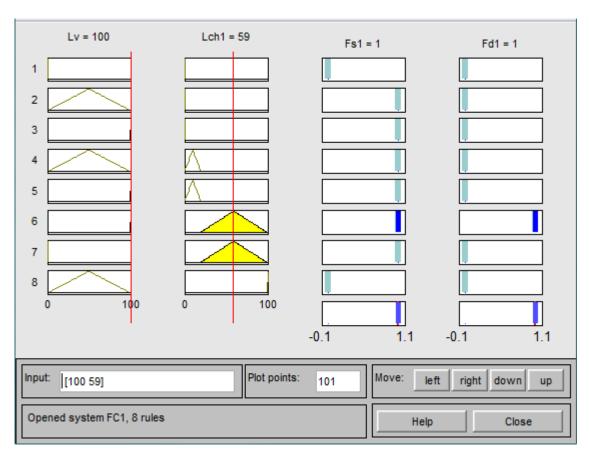


Рисунок 14. Результат моделирования нечеткого регулятора для первого бродильного чана

Для моделирования разработанной нечеткой системы управления во втором бродильном чане используем следующие переменные: $L_v = 100~\%$, $L_{ch1} = 100~\%$, $L_{ch2} = 59~\%$.



После ввода входных переменных будет работать правило 6:

Если $L_v = Полный И <math>L_{ch1} = Полный И L_{ch2} = Сусло с$ производственными дрожжами, ТО $F_{s2} = Открыт И F_{d2} = Открыт$

«Если
$$L_v=(L_v)_3$$
 И $L_{ch1}=(L_{ch1})_4$ И $L_{ch2}=(L_{ch2})_3$, ТО $F_{s2}=(F_{s2})_2$ И $F_{d2}=(F_{d2})_2$ »

Таким образом, положение клапанов второго бродильного чана для подачи сусла и производственных дрожжей составляет: $F_{s2} = 1$, $F_{d2} = 1$.

На рисунке 15 изображен результат моделирования нечеткого регулятора для второго бродильного чана.



Рисунок 15. Результат моделирования нечеткого регулятора для второго бродильного чана

7. Реализация системы управления в Unity Pro

В качестве устройства управления технологическим процессом заполнения чанов в бродильном отделении был выбран контроллер ModiconM340.



Управляющая программа процессом заполнения чанов в бродильном отделении реализована в пакете UnityProXL на языке ST. Регулируемыми параметрами являются уровни заполнения первого—шестого бродильных чанов суслом и производственными дрожжами.

Переменные программы для нечеткого регулятора представлены на рисунке 16.

- S Fd1	EBOOL	%M07	Положение клапана для подачи производственных дрожжей в первый бродильный чан	None
- 🐤 Fd2	EBOOL	%M08	Положение клапана для подачи производственных дрожжей во второй бродильный чан	
🐤 Fd3	EBOOL	%M09	Положение клапана для подачи производственных дрожжей в третий бродильный чан	None
- 🦫 Fd4	EBOOL	%M010	Положение клапана для подачи производственных дрожжей в четвертый бродильный чан	None
🐤 Fd5	EBOOL	%M011	Положение клапана для подачи производственных дрожжей в пятый бродильный чан	None
🧇 Fd6	EBOOL	%M012	Положение клапана для подачи производственных дрожжей в шестой бродильный чан	None
🐤 Fs1	EBOOL	%M01	Положение клапана для подачи сусла в первый бродильный чан	None
🦫 Fs2	EBOOL	%M02	Положение клапана для подачи сусла во второй бродильный чан	None
🦫 Fs3	EBOOL	%M03	Положение клапана для подачи сусла в третий бродильный чан	None
🦫 Fs4	EBOOL	%M04	Положение клапана для подачи сусла в четвертый бродильный чан	None
- S Fs5	EBOOL	%M05	Положение клапана для подачи сусла в пятый бродильный чан	None
🧇 Fs6	EBOOL	%M06	Положение клапана для подачи сусла в шестой бродильный чан	None
🐤 Lch1	INT	%MW2	Уровень заполнения первого бродильного чана	
🐤 Lch2	INT	%MW3	Уровень заполнения второго бродильного чана	
- S Lch3	INT	%MW4	Уровень заполнения третьего бродильного чана	
- S Lch4	INT	%MW5	Уровень заполнения четвертого бродильного чана	
- Lch5	INT	%MW6	Уровень заполнения пятого бродильного чана	
- Uch6	INT	%MW7	Уровень заполнения шестого бродильного чана	
🧇 Lv	INT	%MW1	Уровень заполнения возбраживателя	

Рисунок 16. Окно вкладки Elementary Variables для всех переменных

Описание переменных, используемых в программе для контроллера в UnityProXL, представлено в таблице 1.

Фрагмент листинга программы на языке ST представлен на рисунке 17.

Запуск проекта осуществляется при нажатии кнопки Connect в пункте меню PLC в UnityPro.

Для проверки корректности работы программы, используем следующие значения переменных: Lv = 100, Lch1 = 100, Lch2 = 100, Lch3 = 59,

Lch4 = 0, Lch5 = 0, Lch6 = 0.



Таблица 1. Переменные, используемые в программе UnityPro

		Тип
Переменная	Параметр	данных
L _v	уровень заполнения возбраживателя	INT
L_{ch1}	уровень заполнения первого бродильного чана	INT
L _{ch2}	уровень заполнения второго бродильного чана	INT
L _{ch3}	уровень заполнения третьего бродильного чана	INT
L _{ch4}	уровень заполнения четвертого бродильного чана	INT
L _{ch5}	уровень заполнения пятого бродильного чана	INT
L _{ch6}	уровень заполнения шестого бродильного чана	INT
F_{s1}	положение клапана для подачи сусла в первый бродильный чан	EBOOL
F_{s2}	положение клапана для подачи сусла во второй бродильный чан	EBOOL
F_{s3}	положение клапана для подачи сусла в третий бродильный чан	EBOOL
F_{s4}	положение клапана для подачи сусла в четвертый бродильный чан	EBOOL
F_{s5}	положение клапана для подачи сусла в пятый бродильный чан	EBOOL
F_{s6}	положение клапана для подачи сусла в шестой бродильный чан	EBOOL
F_{d1}	положение клапана для подачи производственных дрожжей в первый бродильный чан	EBOOL
F_{d2}	положение клапана для подачи производственных дрожжей во второй бродильный чан	EBOOL
F_{d3}	положение клапана для подачи производственных дрожжей в третий бродильный чан	EBOOL
F_{d4}	положение клапана для подачи производственных дрожжей в четвертый бродильный чан	EBOOL
F_{d5}	положение клапана для подачи производственных дрожжей в пятый бродильный чан	EBOOL
F_{d6}	положение клапана для подачи производственных дрожжей в шестой бродильный чан	EBOOL
	1 (1	



```
| If Lw=0 and Lchi=0 then Fsi:=0; Fdi:=0;
| claif (Ly*0 and Ly*100) and Lchi=0 then Fsi:=1; Fdi:=0;
| claif (Ly*0 and Ly*100) and Lchi=0 then Fsi:=1; Fdi:=0;
| claif (Ly*0 and Ly*100) and Lchi=0 then Fsi:=1; Fdi:=0;
| claif (Ly*100) and (Lchi) then Fsi:=1; Fdi:=0;
| claif (Ly*100) and (Lchi) then Fsi:=1; Fdi:=0;
| claif (Ly*00) and (Lchi) then Fsi:=1; Fdi:=0;
| claif (Ly*00) and (Lchi) then Fsi:=0; Fdi:=0;
| claif (Ly*00) and Lchi=100 and Lchi=20 then Fsi:=1; Fdi:=0;
| claif (Ly*00) and Lchi=100 and Lchi=20 then Fsi:=1; Fdi:=0;
| claif (Ly*00) and Lchi=100 and Lchi=20 then Fsi:=1; Fdi:=0;
| claif (Ly*00) and Lchi=100 and Lchi=20 then Fsi:=1; Fdi:=0;
| claif (Ly*00) and Lchi=100 and Lchi=20 then Fsi:=1; Fdi:=0;
| claif (Ly*00) and Lchi=100 and Lchi=20 then Fsi:=1; Fdi:=0;
| claif (Ly*00) and Lchi=100 and Lchi=20 then Fsi:=1; Fdi:=0;
| claif (Ly*00) and Lchi=100 and Lchi=20 then Fsi:=0; Fdi:=0;
| claif (Ly*00) and Lchi=100 and Lchi=200 then Fsi:=0; Fdi:=0;
| claif (Ly*00 and Lchi=100 and Lchi=200 then Fsi:=0; Fdi:=0;
| claif (Ly*00 and Lchi=100 and Lchi=200 then Fsi:=0; Fdi:=0;
| claif (Ly*00 and Lchi=100 and Lchi=200 then Fsi:=0; Fdi:=0;
| claif (Ly*00 and Lchi=100 and Lchi=200 and Lchi=200 and Lchi=200;
| claif (Ly*00 and Lchi=100 and Lchi=200 and Lchi=200 and Lchi=200;
| claif (Ly*00 and Lchi=100 and Lchi=200 and Lchi=200 and Lchi=200;
| claif (Ly*00 and Lchi=100 and Lchi=200 and Lchi=200 and Lchi=200;
| claif (Ly*00 and Lchi=100 and Lchi=200 and Lchi=200 and Lchi=200;
| claif (Ly*00 and Lchi=100 and Lchi=200 and Lchi=200 and Lchi=200;
| claif (Ly*00 and Lchi=100 and Lchi=200 and Lchi=200 and Lchi=200;
| claif (Ly*00 and Lchi=100 and Lchi=200 and Lchi=200 and Lchi=200;
| claif (Ly*00 and Lchi=100 and Lchi=200 and Lchi=200 and Lchi=200;
| claif (Ly*00 and Lchi=100 and Lchi=200 and Lchi=200 and Lchi=200;
| claif (Ly
```

Рисунок 17. Окно листинга программы на языке ST

При этом получаем следующие значения для выходных переменных: $F_{s1}=0,\,F_{d1}=0,\,F_{s2}=0,\,F_{d2}=0,\,F_{s3}=1,\,F_{d3}=1,\,F_{s4}=0,\,F_{d4}=0,\,F_{s5}=0,\,F_{d5}=0,\,F_{s6}=0,\,F_{d6}=0.$

Моделирование системы управления в AnimationTables изображено на рисунке 18.

- V	100	INT	Уровень заполнения возбраживателя
- 0 Lch1	100	INT	Уровень заполнения первого бродильного чана
🐤 Lch2	100	INT	Уровень заполнения второго бродильного чана
- Lch3	59	INT	Уровень заполнения третьего бродильного чана
🐤 Lch4	0	INT	Уровень заполнения четвертого бродильного чана
- Uch5	0	INT	Уровень заполнения пятого бродильного чана
- Ch6	0	INT	Уровень заполнения шестого бродильного чана
- 🖖 Fs1	0	EBOOL	Положение клапана для подачи сусла в первый бродильный чан
- \varTheta Fd1	0	EBOOL	Положение клапана для подачи производственных дрожжей в первый бродильный чан
- 🐤 Fs2	0	EBOOL	Положение клапана для подачи сусла во второй бродильный чан
- 😌 Fd2	0	EBOOL	Положение клапана для подачи производственных дрожжей во второй бродильный чан
- 🐤 Fs3	1	EBOOL	Положение клапана для подачи сусла в третий бродильный чан
- 🐤 Fd3	1	EBOOL	Положение клапана для подачи производственных дрожжей в третий бродильный чан
🦫 Fs4	0	EBOOL	Положение клапана для подачи сусла в четвертый бродильный чан
🦫 Fd4	0	EBOOL	Положение клапана для подачи производственных дрожжей в четвертый бродильный ча
- 🐓 Fs5	0	EBOOL	Положение клапана для подачи сусла в пятый бродильный чан
- 🐤 Fd5	0	EBOOL	Положение клапана для подачи производственных дрожжей в пятый бродильный чан
🐤 Fs6	0	EBOOL	Положение клапана для подачи сусла в шестой бродильный чан
- 😍 Fd6	0	EBOOL	Положение клапана для подачи производственных дрожжей в шестой бродильный чан

Рисунок 18. Окно моделирования системы управления в AnimationTables

8. Реализация системы управления в Vijeo Citect

Для автоматизируемой системы разработана мнемосхема для отображения текущего состояния технологического процесса. Мнемосхема технологического процесса отображает систему в режиме реального



времени, что позволяет оператору быстро реагировать на поведение системы и следить за ходом протекания процесса. Общий вид мнемосхемы представлен на рисунке 19.

Для возможности просмотра изменения параметров в режиме реального времени, а также архивных данных, разработаны всплывающие экраны с нанесенными на них элементами «Тренд». Каждое окно тренда привязано к аргументам мнемосхемы (рисунок 20).

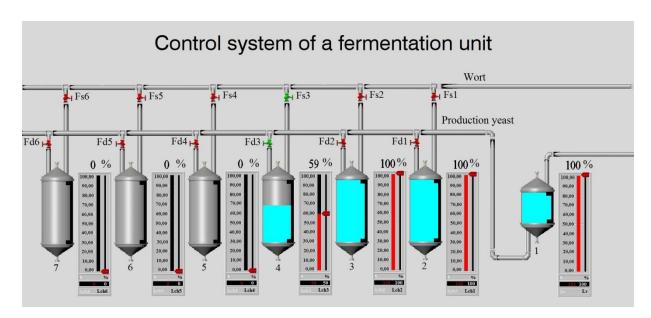


Рисунок 19. Окно мнемосхемы

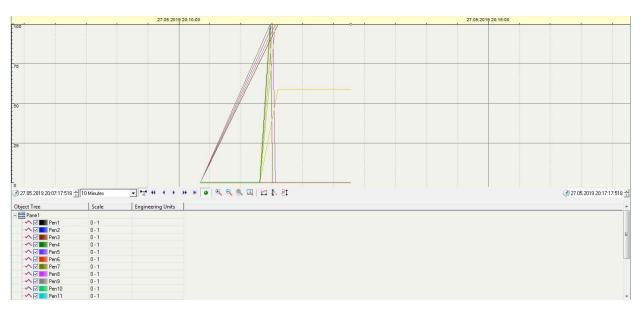


Рисунок 20. Окно тренда уровня заполнения бродильных чанов

В таблице 2 приведено описание переменных тренда.



Таблица 2. Переменные тренда

Обозначение	Переменная	Параметр	Тип данных	Диапаз он
1	2	3	4	5
Pen1	F_{d1}	положение клапана для подачи производственных дрожжей в первый бродильный чан	DIGITAL	0;1
Pen2	F _{d2}	положение клапана для подачи производственных дрожжей во второй бродильный чан	DIGITAL	0;1
Pen3	$\mathrm{F}_{ ext{d3}}$	положение клапана для подачи производственных дрожжей в третий бродильный чан	DIGITAL	0;1
Pen4	F_{d4}	положение клапана для подачи производственных дрожжей в четвертый бродильный чан	DIGITAL	0;1
Pen5	$\mathrm{F}_{ ext{d5}}$	положение клапана для подачи производственных дрожжей в пятый бродильный чан	DIGITAL	0;1
Pen6	F_{d6}	положение клапана для подачи производственных дрожжей в шестой бродильный чан.	DIGITAL	0;1
Pen7	F_{s1}	положение клапана для подачи сусла в первый бродильный чан	DIGITAL	0;1
Pen8	F_{s2}	положение клапана для подачи сусла во второй бродильный чан	DIGITAL	0;1
Pen9	F_{s3}	положение клапана для подачи сусла в третий бродильный чан	DIGITAL	0;1
Pen10	F_{s4}	положение клапана для подачи сусла в четвертый бродильный чан	DIGITAL	0;1
Pen11	F_{s5}	положение клапана для подачи сусла в пятый бродильный чан	DIGITAL	0;1



Продолжение таблицы 2

Обозначение	Переменная	Параметр	Тип данных	Диапазон
Pen12	F_{s6}	положение клапана для подачи сусла в шестой бродильный чан	DIGITAL	0;1
Pen13	L _{ch1}	уровень заполнения первого бродильного чана	INTEGER	0 – 100
Pen14	L _{ch2}	уровень заполнения второго бродильного чана	INTEGER	0 – 100
Pen15	L _{ch3}	уровень заполнения третьего бродильного чана	INTEGER	0 – 100
Pen16	L_{ch4}	уровень заполнения четвертого бродильного чана	INTEGER	0 – 100
Pen17	L _{ch5}	уровень заполнения пятого бродильного чана	INTEGER	0 – 100
Pen18	L_{ch6}	уровень заполнения шестого бродильного чана	INTEGER	0 – 100
Pen19	$L_{\rm v}$	уровень заполнения возбраживателя	INTEGER	0 – 100

Выводы

Спроектирована система нечетких регуляторов для управления технологическим процессом бродильного отделения, которая позволяет проводить регулирование положения клапана для подачи сусла в первый бродильный чан, положения клапана для подачи производственных дрожжей в первый бродильный чан, положения клапана для подачи сусла во второй бродильный чан, положения клапана ДЛЯ подачи производственных дрожжей во второй бродильный чан, положения клапана для подачи сусла в третий бродильный чан, положения клапана для подачи производственных дрожжей в третий бродильный чан, положения клапана для подачи сусла в четвертый бродильный чан, положения клапана для подачи производственных дрожжей в четвертый бродильный чан, положения клапана для подачи сусла в пятый



бродильный чан, положения клапана для подачи производственных дрожжей в пятый бродильный чан, положения клапана для подачи сусла в шестой бродильный чан И положения клапана ДЛЯ подачи производственных дрожжей в шестой бродильный чан в зависимости от возбраживателя, уровня заполнения уровня заполнения первого бродильного чана, уровня заполнения второго бродильного чана, уровня заполнения третьего бродильного чана, уровня заполнения четвертого бродильного чана, уровня заполнения пятого бродильного чана, уровня заполнения шестого бродильного чана.

Нечеткий алгоритм реализован в программах MATLAB, Unity Pro и Vijeo Citect.

Настроена многомерная система управления. Нечеткий регулятор учитывает взаимные влияния входных параметров (уровень сусла и производственных дрожжей) на выходные: положение клапана для подачи сусла в первый бродильный чан, положение клапана для подачи производственных дрожжей в первый бродильный чан, положение клапана для подачи сусла во второй бродильный чан, положение клапана для подачи производственных дрожжей во второй бродильный чан, положение клапана для подачи сусла в третий бродильный чан, положение клапана для подачи производственных дрожжей в третий бродильный чан, положение клапана для подачи сусла в четвертый бродильный чан, положение клапана для подачи производственных дрожжей в четвертый бродильный чан, положение клапана для подачи сусла в пятый бродильный чан, положение клапана для подачи производственных дрожжей в пятый бродильный чан, положение клапана для подачи сусла в шестой бродильный чан И положение клапана ДЛЯ подачи производственных дрожжей в шестой бродильный чан.

Внедрение автоматической системы управления, учитывающей основные параметры многосвязанного объекта и способной производить управление всем процессом бродильного отделения, позволило решить



поставленную проблему стабилизации входных параметров и управления выходными параметрами процесса.

Список использованных источников

- 1. Технологический регламент Стерлитамакского спиртоводочного комбината, филиала АО «Башспирт». 2015. 85 с.
- 2. Технологическая инструкция бродильного отделения Стерлитамакского спиртоводочного комбината, филиала АО «Башспирт». 2015. 7 с.
 - 3. Яровенко В.Л. Технология спирта. М.: Колос, 2009. 428 с.
- 4. Muravyova E. A., Bogdanov A. V. Software Implementation of the Accurate Regulators a Three-Dimensional Object: Heating Chamber Evaporator Heater Steam Boiler // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies. Vladivostok, Russia. 2018. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/8602917. DOI: 10.1109/FarEastCon.2018. 8602917.
- 5. Muravyova E.A., Sharipov M.I., Bondarev A.V. Method for Increasing the Speed and Reducing the Error of Multidimensional Precise Logic Controller // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies. Vladivostok, Russia. 2018. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/8602643. DOI: 10.1109/FarEastCon.2018. 8602643.
- 6. Muravyova E.A., Sharipov M.I., Gabitov R.F. SCADA-System Based on Multidimensional Precise Logic Controller for the Control of a Cement Kiln // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies. Vladivostok, Russia. 2018. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/8602589 (accessed: 14.07.2019). DOI: 10.1109/FarEastCon.2018.8602589.



- 7. Киреев Р.С. Создание лабораторной установки для автоматического контроля и регулирования температуры посредством интегрированной системы Vijeo Citect 7.2 и программной среды для разработки и программирования ПЛК Schneider Electric Unity Pro 7.0 // Вестник молодого ученого УГНТУ. 2015. № 3 (3). С. 64-77.
- 8. Muravyova E.A., Bondarev A.V., Sharipov M.I., Galiaskarova G.R., Kubryak A.I. Power Consumption Analysis of Pump Station Control Systems Based on Fuzzy Controllers with Discrete Terms in iThink Software // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Tomsk, Russian Federation. 2018. Vol. 327. (2). DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/2/022072.

References

- 1. Tekhnologicheskii reglament Sterlitamakskogo spirtovodochnogo kombinata, filiala AO «Bashspirt» [Technological Regulations Sterlitamak Distillery, a Branch of JSC «Bashspirt»]. 2015. 85 p. [in Russian].
- 2. Tekhnologicheskaya instruktsiya brodil'nogo otdeleniya Sterlitamakskogo spirtovodochnogo kombinata, filiala AO «Bashspirt» [Technological Instruction of Fermentation Department of Sterlitamak Distillery, Branch of JSC «Bashspirt»]. 2015. 7 p. [in Russian].
- 3. Yarovenko V.L. *Tekhnologiya spirta* [Alcohol Technology]. Moscow, Kolos Publ., 2009. 428 p. [in Russian].
- 4. Muravyova E.A., Bogdanov A.V. Software Implementation of the Accurate Regulators a Three-Dimensional Object: Heating Chamber Evaporator Heater Steam Boiler. *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies*. Vladivostok, Russia, 2018. Available at: https://ieeexplore.ieee.org/document/8602917. DOI: 10.1109/FarEastCon.2018. 8602917.



- 5. Muravyova E.A., Sharipov M.I., Bondarev A.V. Method for Increasing the Speed and Reducing the Error of Multidimensional Precise Logic Controller. *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies*. Vladivostok, Russia, 2018. Available at: https://ieeexplore.ieee.org/document/8602643. DOI: 10.1109/FarEastCon.2018. 8602643.
- 6. Muravyova E.A., Sharipov M.I., Gabitov R.F. SCADA-System Based on Multidimensional Precise Logic Controller for the Control of a Cement Kiln. *International Multi-Conference on Inductial Engineering and Modern Technologies*. Vladivostok, Russia, 2018. Available at: https://ieeexplore.ieee.org/document/8602589. DOI: 10.1109/FarEastCon.2018. 8602589.
- 7. Kireev R.S. Sozdanie laboratornoi ustanovki dlya avtomaticheskogo kontrolya i regulirovaniya temperatury posredstvom integrirovannoi sistemy Vijeo Citect 7.2 i programmnoi sredy dlya razrabotki i programmirovaniya PLK Schneider Electric Unity Pro 7.0 [Creation of a Laboratory Facility for Automatic Temperature Control and Regulation by Means of the Integrated Vijeo Citect 7.2 System and the Software Environment for the Development and Programming of Schneider Electric Unity Pro 7.0 PLC]. *Vestnik molodogo uchenogo UGNTU Vestnik molodogo uchenogo USPTU*, 2015, No. 3 (3), pp. 64-77.
- 8. Muravyova E.A., Bondarev A.V., Sharipov M.I., Galiaskarova G.R., Kubryak A.I. Power Consumption Analysis of Pump Station Control Systems Based on Fuzzy Controllers with Discrete Terms in iThink Software. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Tomsk, Russian Federation, 2018, Vol. 327. (2). DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/2/022072.



Сведения об авторах

About the authors

Муравьева Елена Александровна, д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой «Автоматизированные технологические и информационные системы», УГНТУ, филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация

Elena A. Muravyova, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Automated Technology and Information Systems Department, USPTU, Branch, Sterlitamak, Russian Federation

e-mail: muraveva_ea@mail.ru

Еникеева Эльза Рашитовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электро- и теплоэнергетика», АГНИ, г. Альметьевск, Российская Федерация

Elza R. Enikeeva, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Electrical and Heat Power Engineering Department, ASPI, Almetyevsk, Russian Federation

e-mail: elza.enikeeva@mail.ru

Абдрафикова Филюза Федоиловна, студент кафедры «Автоматизированные технологические и информационные системы», УГНТУ, филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация

Filyuza F. Abdrafikova, Student of Automated Technology and Informational Systems Department, USPTU, Branch, Sterlitamak, Russian Federation

e-mail: filuja-a@rambler.ru