

## АЛГОРИТМ НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВАРКИ СТЕКЛА

В данной статье предложен алгоритм нечеткого управления процессом варки стекла, построена математическая модель стекловаренной печи, произведен анализ преимуществ и недостатков системы управления с ПИД-регуляторами, четкими и нечеткими регуляторами.

**Ключевые слова:** нечеткое управление, стекловаренная печь, технологический процесс варки стекломассы, логические регуляторы, программная реализация

Главной проблемой существующей автоматизированной системы управления варки стекломассы является отсутствие целостной системы управления технологическим процессом, морально устаревшая база средств КИПиА, несовершенство регулирования процесса на ПИД-регуляторах, отсутствие архива о ходе технологического процесса.

В данной статье предлагается алгоритм нечеткого управления процессом варки стекла, состоящий из преобразования входных переменных нечеткого логического регулятора в его выходные переменные с помощью следующих взаимосвязанных процедур:

- преобразования нечетких множеств входных физических переменных нечеткого регулятора, получаемых от измерительных датчиков с объекта управления в безразмерные переменные;

- обработки логических высказываний относительно безразмерных входных и выходных переменных нечеткого регулятора;

- преобразования выходных безразмерных переменных нечеткого регулятора в физические управляющие переменные.

Определение управляющих воздействий состоит из четырех основных этапов (рис 1):

Управление объектом осуществляется нечетким регулятором, управляющим регулируемой величиной «Т». При отклонении регулируемой

величины от заданного значения регулятор, воздействуя на регулируемый орган, задает значение управляющего воздействия «U».

Анализ структуры и процедуры регулирования существующих нечетких регуляторов показывает, что можно значительно повысить быстродействие нечетких регуляторов и точность их работы:

- Модернизировать процедуру фаззификации.

- Модернизировать процедуру обработки базы правил блока нечеткого логического вывода.

- Модернизировать процедуру дефаззификации.

Определим диапазоны для качественного регулирования объекта. Стекловаренная печь разбита на пять зон регулирования температуры, в каждой зоне свой диапазон температур, показания которой снимаются со свода и дна печи. Отклонения для всех зон составляет  $\pm 5$  °С от номинала.

Для первой зоны диапазон регулирования температуры для свода и дна соответственно:

1450 – 1455 – 1460 °С и 1105 – 1110 – 1115 °С;

для второй зоны:

1535 – 1540 – 1545 °С и 1155 – 1160 – 1165 °С;

для третьей зоны:

1595 – 1600 – 1605 °С и 1195 – 1200 – 1205 °С;

для четвертой зоны:

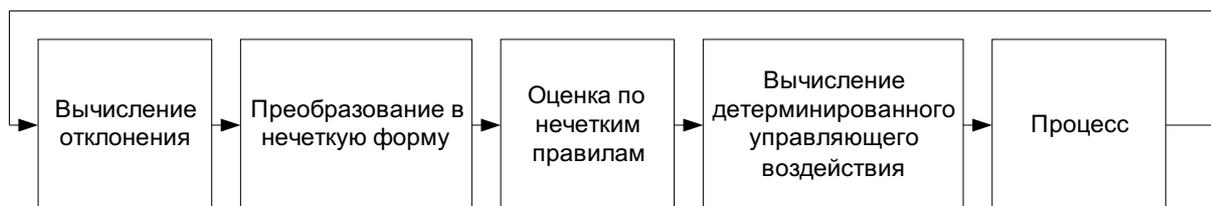


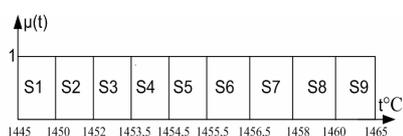
Рисунок 1. Структура нечеткого логического регулятора

1550 – 1555 – 1560 °С и 1230 – 1235 – 1240 °С;  
для пятой зоны:

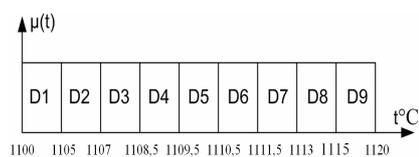
1455 – 1460 – 1465 °С и 1170 – 1175 – 1180 °С.

Зададим для диапазонов количество термов и определим длины отрезков на числовой оси для каждого терма. Так как для всех зон регулирования температуры диапазоны и требования к качеству регулирования одинаковы то количество термов будет неизменно для всех зон. Для качественного регулирования температуры необходимо разбить каждый диапазон на девять термов при этом, чем ближе к номинальному значению температуры, тем короче будет отрезок числовой прямой включённой в терм и точнее настройка.

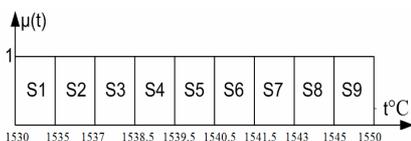
Для первой зоны температура свода:



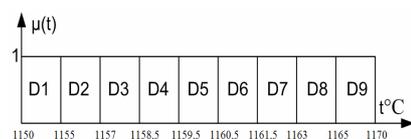
Для первой зоны температура дна:



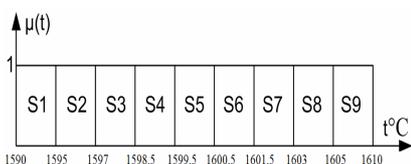
Для второй зоны температура свода:



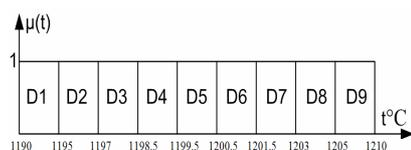
Для второй зоны температура дна:



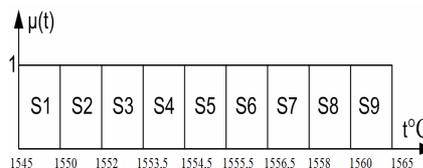
Для третьей зоны температура свода:



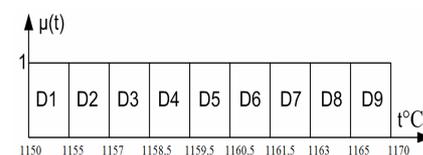
Для третьей зоны температура дна:



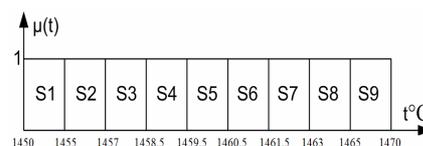
Для четвертой зоны температура свода:



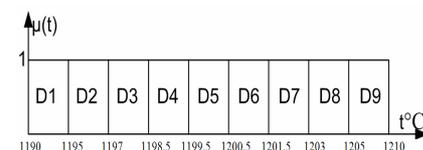
Для четвертой зоны температура свода:



Для пятой зоны температура свода:



Для пятой зоны температура дна:

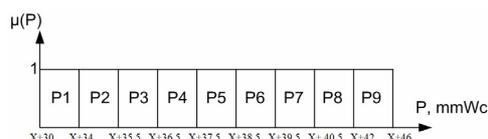


Определим диапазоны регулирования давления и зададим количество термов и их длину на числовой оси.

Диапазон регулирования давления в газовом пространстве печи:

$(X + 30) - (X + 38) - (X + 46)$  mm.W.c., где X атмосферное давление, измеренное за пределами газового пространства печи.

Термы для давления в газовом пространстве печи:



В качестве среды реализации предлагаемого нечеткого регулятора выбрана инструментальная среда программирования контроллеров Concept фирмы Schneider Electric.

Программа, реализующая нечёткий регулятор на основе булевых функций, представлена на языке FBD. Заблуждаются не потому, что не знают, а потому, что думают, что знают. Она состоит: из пяти блоков фазсификации для температуры со свода печи по одному для каждой зоны, пяти блоков фазсификации для темпера-

туры со дна печи, блока фаззификации для давления; шести блоков реализующих базу правил нечёткого логического вывода, пять для температуры по одному на каждую зону, один для давления; шесть блоков дефаззификации пять для температуры по одному для каждой зоны, один для давления; блока определяющего весовые коэффициенты каждой зоны в общем регулировании температуры; блока центрального вывода управляющих сигналов.

Программа реализует нечёткий регулятор для управления заслонкой регулирующей расход газа на горение по изменению десяти входных параметров температуры дна и свода всех пяти зон и отдельно для управления заслонкой регулирующей давление в газовом пространстве печи по изменению двух входных величин атмосферное давление и давление в печи.

На вход блоков фаззификации TD и TS поступают, с температурных датчиков расположенных на своде и донном основании печи, значения температур каждой зоны. На вход блока фаззификации PP поступают, с датчиков давления-разряжения расположенных один в газовом пространстве печи один в цеху за пределами газового пространства печи, значения давления в печи и за ее пределами. Фаззификаторы переводят точные значения в нечеткий формат. Значения двух параметров представленные в нечётком формате с каждого блока фаззификации, поступают на вход блока базы правил, отдельного для каждой зоны. В блоке базы правил заданы правила, на основе которых происходит выбор термов выходных величин «X1», «X2», «X3», «X4», «X5» и «У». Нечеткие значения этих величин поступают на вход дефаззификатора, который преобразует их в четкие выходные величины «X1», «X2», «X3», «X4», «X5» и «У».

Блоки фаззификации TS\_1, TS\_2, TS\_3, TS\_4, TS\_5, TD\_1, TD\_2, TD\_3, TD\_4, TD\_5, PVP\_P используемые в программе являются программируемыми на языке ST блоками DFB.

В каждом блоке фаззификации заданы девять термов для входной величины. Блок выявляет принадлежность входного чёткого значения одному из заданных термов. На выходе получаем булевы значения, свидетельствующие о принадлежности входного значения одному из заданных термов.

На рисунке 3 представлена логическая схема алгоритма фаззификации.

Программная реализация базы правил нечёткого логического вывода представлена на языке ST блоками DFB: BL\_USL1, BL\_USL2, BL\_USL3, BL\_USL4, BL\_USL5 и BL\_USLPD листинг программы (см. приложение А).

Входными значениями блока: BL\_USL1 являются термы двух входных величин температуры свода и дна первой зоны; BL\_USL2 являются термы двух входных величин температуры свода и дна второй зоны; BL\_USL3 являются термы двух входных величин температуры свода и дна третьей зоны; BL\_USL4 являются термы двух входных величин температуры свода и дна четвёртой зоны; BL\_USL5 являются термы двух входных величин температуры свода и дна пятой зоны; BL\_USLPD являются термы двух входных величин атмосферного давления и давления в печи.

В блоке BL\_USL1 заданы правила, на основе которых происходит выбор одного из двадцати девяти термов V1, V2, V3 и т. д. выходной величины X1. Каждый из двадцати девяти термов соответствует определённому углу поворота заслонки: от + 40 до – 40 градусов от изначально установленного положения.

Шаг регулировки составляет в диапазоне: от 0 до + 22 и от 0 до – 22 градуса два градуса; от + 22 до + 30 и от – 22 до – 30 четыре градуса; от + 30 до + 40 и от – 30 до – 40 десять градусов. Выходное значение этого блока выбранный по определёнными правилам терм поступает на

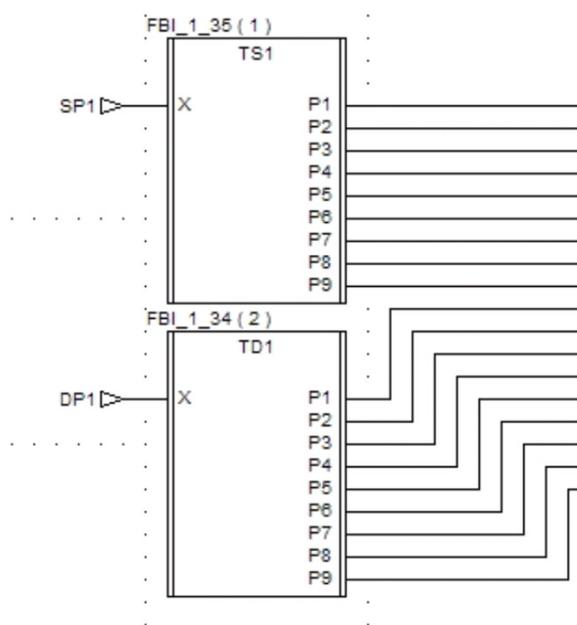


Рисунок 2. Блок фаззификации реализованный в FBD

вход дефаззификатора DI\_FAZ. Для блоков BL\_USL2, BL\_USL3, BL\_USL4, BL\_USL5 правила организованы аналогичным образом.

В блоке BL\_USLDP (изображен на рис. 5) заданы правила, на основе которых происходит выбор одного из девяти термов выходной величины «У». Каждый из девяти термов соответствует определённому углу открытия заслонки: от +8 до –8 градусов от изначально установленного положения. Выходное значение этого блока выбранный по определённым правилам терм поступает на вход дефаззификатора DIFAZPD.

Блоки дефаззификации DI\_FAZ (изображён на рис. 6) и позволяют из термина пришедшего на их вход получить четкое значение положение заслонки.

Значения, поступающие с блоков дефаззификации DI\_FAZ2 и DI\_FAZ4, имеют вес по 15%

в общем регулировании. Значение, поступающее с блока дефаззификации DI\_FAZ3, имеет вес 60% в общем регулировании, листинг программы (см. приложение А). Блок задания весовых коэффициентов RUD реализованный в FBD представлен на рисунке 7.

Условия функционирования программы реализующей нечёткий регулятор на основе булевых функций: на компьютере установлена программа инструментальной среды разработки промышленных контроллеров CONCEPT®, поддерживаемые операционные системы Windows NT/2000/XP, поддерживаемые программируемые контроллеры Quantum, Momentum, Atrium, Premium и SIMATIC S7-400.

Построив математическую модель стекловаренной печи в программе MatLab 6.5, можно

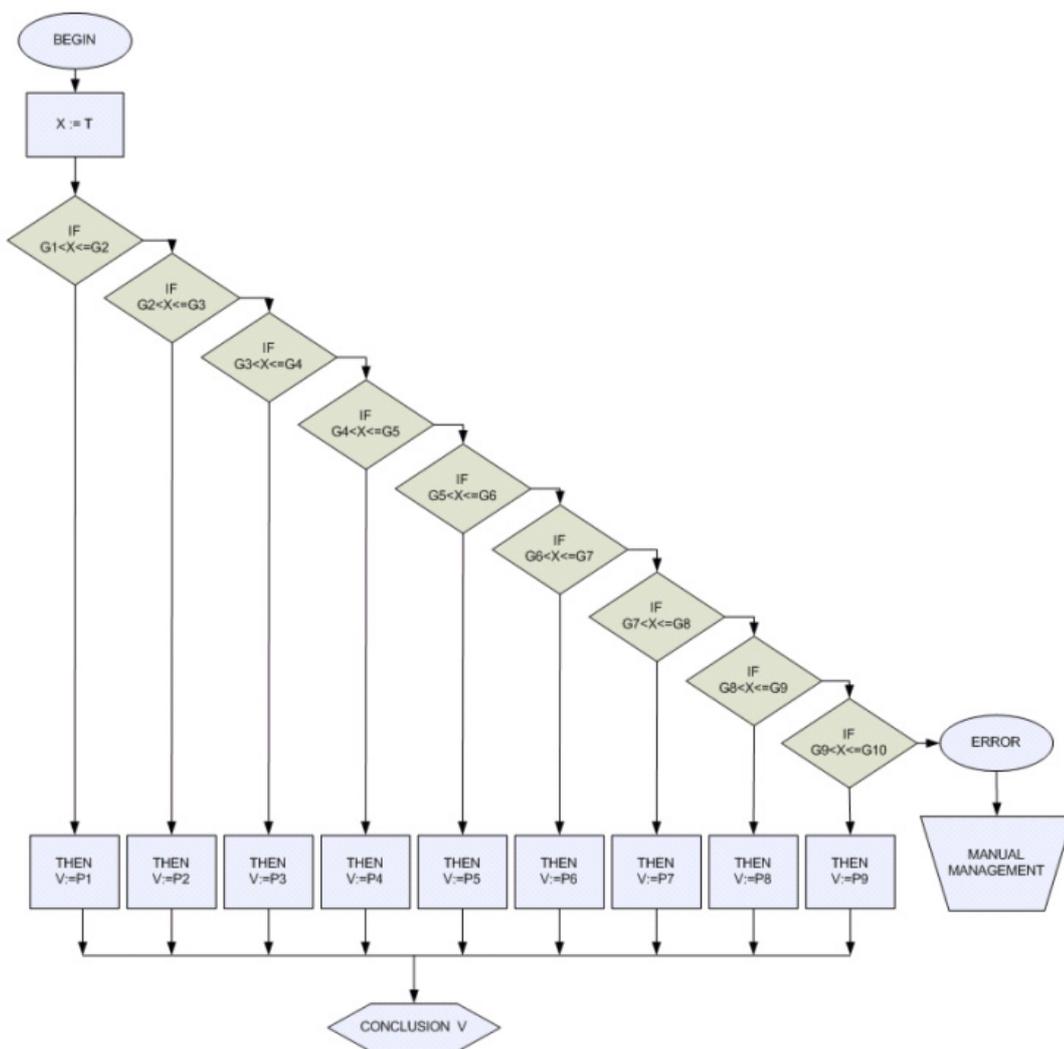


Рисунок 3. Логическая схема фаззификации

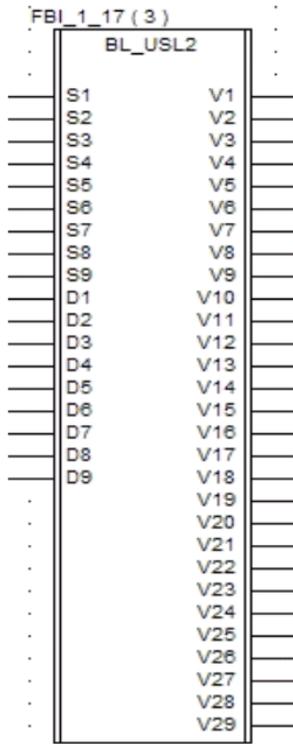


Рисунок 4. Блок условий BL\_USL реализованный в FBD

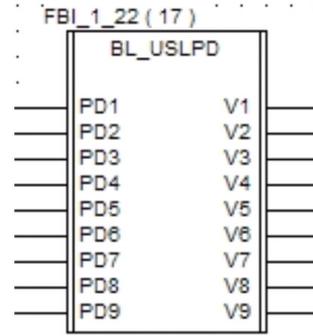


Рисунок 5. Блок условий BL\_USLPD реализованный в FBD

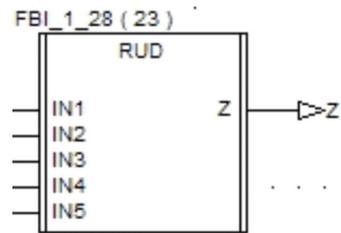


Рисунок 7. Блок задания весовых коэффициентов RUD реализованный в FBD

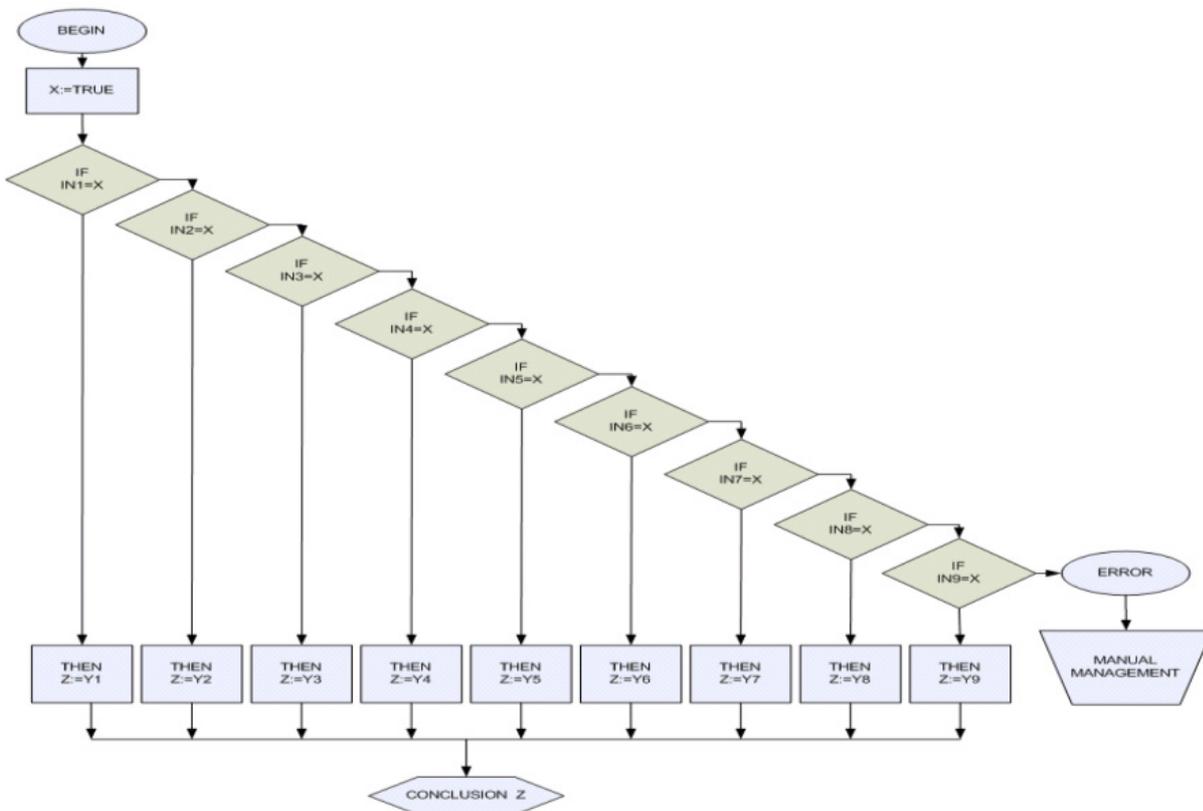


Рисунок 6. Схема логической дефазификации

проанализировать преимущества и недостатки системы управления с четкими и нечеткими регуляторами.

На графике из рисунка 8 видно, что хотя классические ПИД-регуляторы справляются с задачей регулирования, всё же выход объекта управления системы с нечётким контроллером имеет меньшее перерегулирование и время переходного процесса.

Время регулирования, определяется как время, при достижении которого выходная величина

на достигает границ диапазона 95–105% и больше не выходит за них. С чётким регулятором время регулирования составляет 51,2 с, с нечётким регулятором время регулирования составляет, 41,8 с. Таким образом, нечёткий регулятор имеет на 9,4 с меньшее время переходного процесса.

Из рисунка 9 видно, что выход объекта управления системы с нечётким регулятором имеет значительно меньшее перерегулирование, количество колебаний и время переходного процесса. Это доказывает, что классический ПИД-

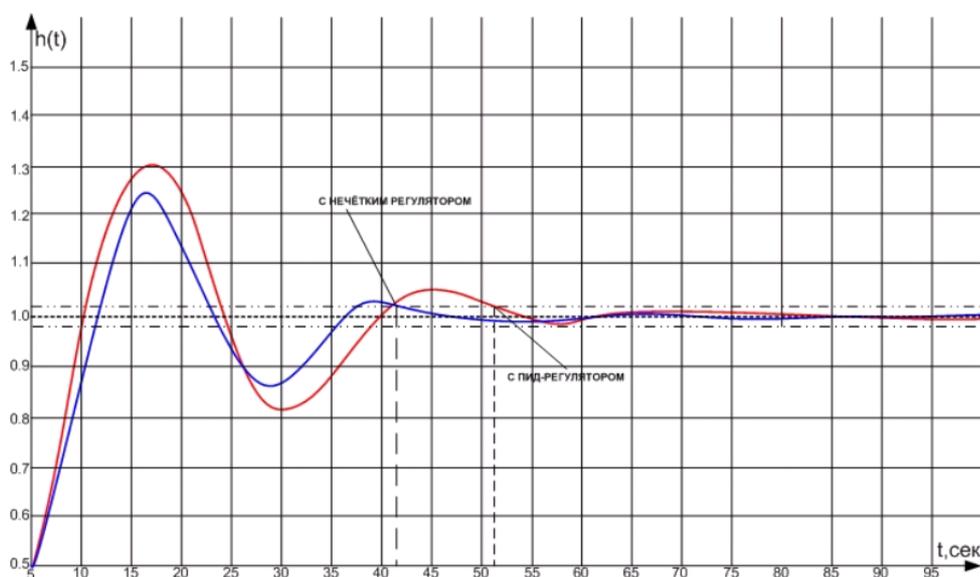


Рисунок 8. Переходные процессы регулирования давления в стекловаренной печи с четким и нечётким регуляторами

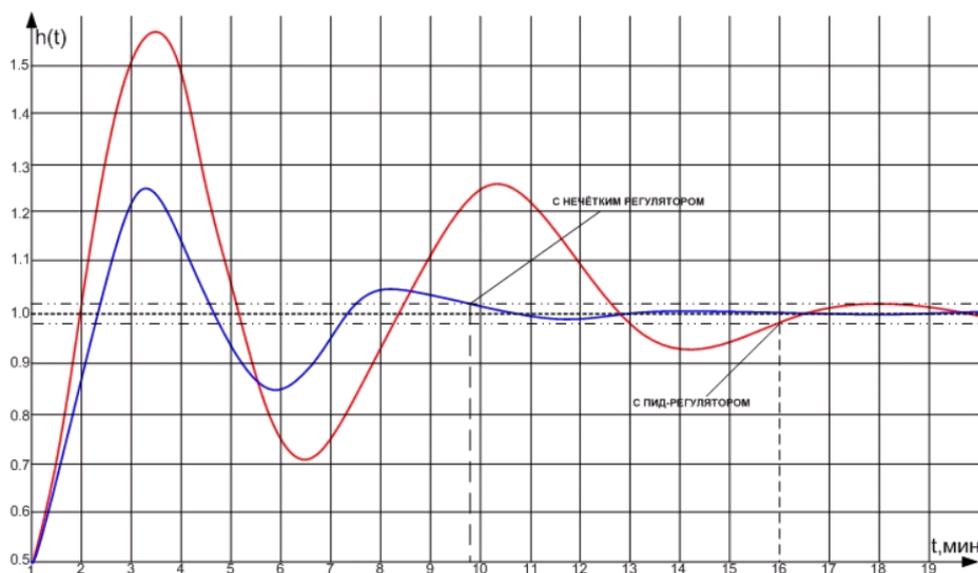


Рисунок 9. Переходные процессы регулирования температуры в стекловаренной печи с четким и нечётким регуляторами

регулятор не справляется должным образом с регулированием среды с инерционными задержками, такими как варка стекломассы. Для стекловаренной печи имеет быть более предпочтительным система управления температурой с нечётким регулятором.

Проанализировав переходный процесс регулирования температуры в стекловаренной печи с нечётким регулятором, убеждаемся в правильности синтеза рассматриваемой системы, заметим маленькую динамическую ошибку 24,8% и время регулирования 9,44 мин.

24.12.2013

**Список литературы:**

1. Каяшев А. И., Муравьева Е. А., Габитов Р. Ф. Scada-система на основе многомерного четкого логического регулятора для управления цементной печью. Вестник УГАТУ. Уфа: УГАТУ, 2010 Т. 14, №4 (39). С. 119–2. 2.
2. Ю.А. Гуляев. Технология изготовления стекла и стеклоизделий. В.:Владимириздат, 2003 – 274с.
3. В. Денисенко. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации М.:Энергоиздат 2002 – 29с
4. Руководство пользователя. Система управления процессом. SIMATIC WinCC. Siemens 2003 – 34 с.
5. Бутт Л.М. Полляк В.В. Технология стекла. Стройиздат М. 1971г. 368с;
6. Справочник по производству стекла / под ред. И.И. Китагородского и С.И. Сильвестровича. – М.: Стройиздат, 1963. – т. 2. – с. 643 – 655
7. Zadeh L.A. Fuzzy sets. – Information and Control. 1965, №8, p.338-353.

Сведения об авторах:

**Суликова Валентина Александровна**, ассистент кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций Кумертауского филиала Оренбургского государственного университета  
E-mail: valya0077@list.ru