

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ГР. ВАРНА

маг. инж. Веско Христов Узунов

АВТОРЕФЕРАТ

На дисертация за присъждане на ОНС „Доктор” на
тема:

КВАЗИОПТИМАЛНО УПРАВЛЕНИЕ НА ОБЕКТ С РАЗПРЕДЕЛЕНИ ПАРАМЕТРИ – ТУНЕЛНА ПЕЩ

р-л: доц. д-р Петър Петров

по научна специалност 02.21.01 - „Теория на
автоматичното управление”

Варна, 2017г.

Рецензенти: 1.
2.

Дисертационният труд е обсъден на 29.11.2017 г. на разширен катедрен съвет на катедра „Автоматизация на производството и е насочен за защита.

Докторантът работи в катедра „Автоматизация на производството”

Автор: инж. Веско Христов Узунов

Заглавие: КВАЗИОПТИМАЛНО УПРАВЛЕНИЕ НА ОБЕКТ С
РАЗПРЕДЕЛЕНИ ПАРАМЕТРИ – ТУНЕЛНА ПЕЩ

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ГР. ВАРНА

маг. инж. Веско Христов Узунов

АВТОРЕФЕРАТ

На дисертация за присъждане на ОНС „Доктор” на
тема:

**КВАЗИОПТИМАЛНО
УПРАВЛЕНИЕ НА ОБЕКТ С
РАЗПРЕДЕЛЕНИ ПАРАМЕТРИ –
ТУНЕЛНА ПЕЩ**

по научна специалност 02.21.01 - „Теория на
автоматичното управление”

Варна, 2017г.

Дисертационният труд съдържа 157 страници, от които 149 страници основен текст, 137 фигури и 9 таблици. Материалът е оформен в 4 глави, завършващи с обобщения и изводи. Списъкът на използваната литература включва 102 заглавия, от които 15 на кирилица и 87 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на отч. в Конферентна зала НУК на открито заседание на жури формирано със заповед на Ректора №

МАТЕРИАЛИТЕ ПО ЗАЩИТАТА (ДИСЕРТАЦИЯТА, РЕЦЕНЗИИТЕ И СТАНОВИЩАТА) СА НА РАЗПОЛОЖЕНИЕ НА ИНТЕРЕСУВАЩИТЕ СЕ ВЪВ ФД „ДОКТОРАНТИ“, СТАЯ 318 НУК.

АКТУАЛНОСТ НА ПРОБЛЕМА

Физичните обекти, които съществуват в природата реално имат разпределен характер, т.е. променливите на състоянието зависят от пространството и времето. Математичните модели, представляващи тези явления, се описват с частни диференциални уравнения. Следователно коректното описание на процеса на управление, свързан с обектите с разпределени параметри (ОРП), става посредством частно диференциално уравнение, зависещо от времето и пространството. Решаването на тези уравнения е доста по-сложно от това на обикновенните диференциални уравнения, което води до трудно синтезиране и настройка на управлението.

Освен проблема с разпределеността на реалните системи, те с малки изключения са и нелинейни, което довежда до неадекватност и на методите прилагани за линейни системи. При реалните обекти в много от случаите дори не може да се създаде точен модел, поради неговата сложност или неъзможност да се проведат необходимите експерименти. Това налага търсенето на нови подходи за преодоляване на тези трудности. Един от тези подходи може да бъде използването на размитото управление и в частност на размитите регулатори.

ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Целта на настоящата дисертация е изследване, разработване и оптимална моделна настройката на размити регулатори, реализирани с PLC от нисък клас, за обекти с пропорционални или интегриращи изпълнителни механизми – тип тунелна пещ.

Тази цел налага решаването на следните задачи:

1. Разработване алгоритми и структури на различни размити регулатори, на база на логически контролери от нисък клас.
2. Изследване работата на разработените размити регулатори с различни обекти с пропорционални и интегриращи изпълнителни механизми от тип тунелна пещ.
3. Симулиране в MATLAB на работата на разработените размити регулатори с получените модели на обектите, посредством идентификация с тулбокса на същия продукт.
4. Разработване на подходи за оптимизиране настройката на регулаторите за съответните обекти.
5. Експериментална проверка на моделната настроените регулатори с реалните обекти.

МЕТОДИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ

Разработените алгоритми и системи и проведените с тях експериментални изследвания се базират на известните: метод на най-малките

квадрати, итерационни методи, методи за апроксимация, метод на центъра на тежестта, метода на центъра на максимумите за деразвиване, метод на златното сечение и др..

ВНЕДРЯВАНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

1. Разработените регулатори и резултатите от проведените експериментални и симулационни изследвания, са внедрени в производствения процес на изпичане на лаковото покритие на листи ламарина в тунелна пещ от юни 2004 година и работят успешно и в момента. Разработения регулатор за нуждите на фирма “Успех Металпринт ССБ” ЕООД няколкократно е подобряван през периода.
2. Разновидности на регулатора са използвани и в цеха за биодизел на фирма „РАПИД ОИЛ” ООД в село Козаревец, област В. Търново, за управление на температурата на подаваната суровина за преработка в инсталацията.
3. Разработените два модела на „бърз” и „бавен” температурен обект се използват за подобряване на учебния процес по дисциплината „Програмируеми логически контролери” от учебния план на специалност “Автоматика, информационна и управляваща техника”, ОКС “Бакалавър”, в Технически Университет - Варна. А също и за обучението на магистрите от специалност „Siemens PLC технологии за управление”.

АПРОБАЦИЯ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Разработките по задачите на дисертацията са докладвани на научни форуми. Направени са общо 5 публикации, 3 от които самостоятелни, както следва: една на международен конгрес (на английски) – във Варна; две на международна конференция „Автоматика и информатика“- София; една в списание ИЗВЕСТИЯ НА СЪЮЗА НА УЧЕНИТЕ – ВАРНА , СЕРИЯ “ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ”; една в Годишник на ТУ-Варна и едната изнесена на конференция „Автоматика и информатика“ е наградена с отпечатване в списание “Information Tachnologies and Control”, където е отпечатана в разширен вид и на английски. Част от разработките са докладвани от автора пред колеги в Техническият Университет в Бърно – Чехия, по програма ERAZMUS PLUS през 2015 година.

СТРУКТУРА И ОБЕМ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Дисертационният труд е разработен в обем от 158 страници, разпределен между Увод, 4 глави, общи изводи и заключения, насоки за бъдеща работа, списък на използваната литература, приложения, претенции за приноси, публикации, списък на внедряванията и съдържание.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА I. ОБЗОР НА ОБЕКТИ С РАЗПРЕДЕЛЕНИ ПАРАМЕТРИ ОТ ТИП ТУНЕЛНИ ПЕЩИ И ПОДХОДИТЕ ЗА РАЗМИТОТО ИМ УПРАВЛЕНИЕ

В първа глава е направен литературен обзор на съществуващите до момента публикации, третиращи въпроса за различните видове тунелни пещи и развитието на размитото управление на обекти, както и са изведени задачите, които трябва да бъдат решени.

1. ОБЗОР НА ОБЕКТИ С РАЗПРЕДЕЛЕНИ ПАРАМЕТРИ ОТ ТИП ТУНЕЛНИ ПЕЩИ И ПОДХОДИТЕ ЗА РАЗМИТОТО ИМ УПРАВЛЕНИЕ

Пещ е оборудване за топене на метали за отливане или загряване на материали за промяна на формата (валцуване, коване и т.н.) или промяна на свойства (топлинна обработка). Един от най-разпространените видове пещи в металургията и керамиката са, така наречените тунелни пещи. За тях е характерно, че дължината на пеща е многократно по-голяма от височината и ширината, а също че материала който се обработва се придвижва по дължината, понякога на порции, а по-често непрекъснато. Поради

голямата си дължина те определено представляват обекти с разпределени параметри, като най-съществена е разпределеността по дължината на пеща. Тунелните пещи също могат да се разделят на няколко вида.

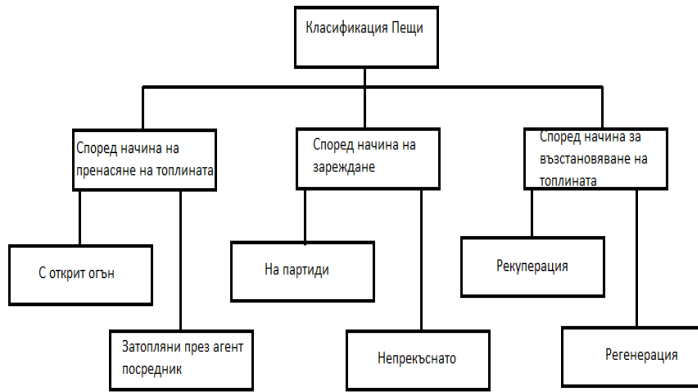
1.1. Видове и класификация на тунелните пещи

Разновидностите на пещите въз основа на начина на пренос на топлина, начина на зареждане и начина на възстановяване на топлина са показани на фигура 1.1 по-долу.

1.2. Особенности на тунелните пещи с течно гориво

Петролът е основено гориво в пещите с течно гориво, особено за повторно нагриване и термична обработка на материали. Използва се в пещи, където присъствието на сяра е нежелателно. Ключът към ефективна работа на пещта е в пълно изгаряне на горивото с минимално излишен въздух.

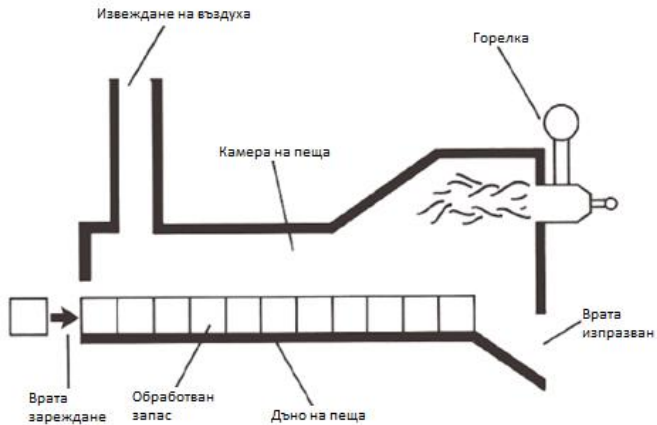
Пещите работят с ниска ефективност примерно 7%, срещу до 90% постижимо в други горивни инсталации, като например бойлер. Това е поради високата температура, при която пещите трябва да работят за да отговарят на изискванията. Например, при нагриване на материала до 1200 °С, изгорели газове напускащи пещта ще имат температура поне 1200 °С, което води до голяма загуба на топлина.



Фиг.1.1 Класификация на пещите

1.2.1 Конструкция на тунелните пещи

Всички пещи притежават частите, показани на фигура 1.2.



Фиг. 1.2 Съставни части на тунелните пещите

- Огнеупорна камера изработена от изолиращи материали за задържане на топлината при високи работни температури.
- Горелка служеща да поддържа или повишава температурата на обработвания материал. Горелките използват течни или газообразни горива за повишаване и поддържане на температурата в камерата. Въглища или електричество може да се използва за претопляне.

1.2.2 Топлообмен в пещите

Топлината се предава към нагрявания материал основно по два начина: чрез радиация и чрез конвекция. За това кой вид топлообмен ще преобладава има значение най-вече работната температура на пещта. В таблица 1.1 е дадено процентното съотношение на различните видове топлообмен в зависимост от температурата.

Табл. 1.1

Начин за трансфер на топлината	Температура в °С		
	1250	900	400
чрез излъчване %	70	24.7	3.6
чрез конвекция %	30	75.3	95.4
чрез проводимост %	0	0	1

1.2.3 Видове пещи от непрекъснат (проходен) тип

Непрекъснатите отоплителни пещи са категоризирани главно чрез метода, по който материалът се транспортира през пещта.

1.2.3.1 Пещи с тласкане

1.2.3.2 Пещи с ходещо дъно

1.2.3.3 Пещи с въртяща се основа (дъно)

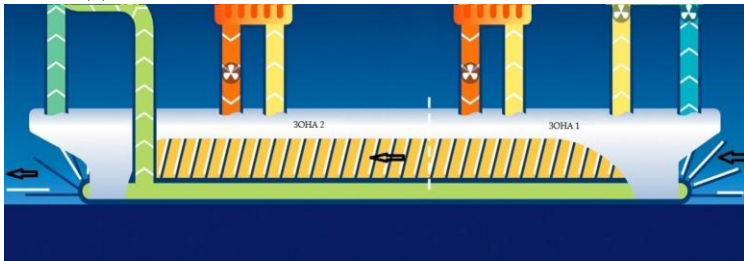
1.2.3.4 Пещи с непрекъснато действие тип рециркулационна талига

1.3. Описание на конкретната пещ като обект за автоматизация

Реалната пещ за която е разработвано управлението е за изпичане (изсушаване) на лаково покритие или отпечатък върху листове ламарина. Тя може да се отнесе към тунелните пещи с непрекъснато действие с талиги. Подгръването обаче е с междинен агент, а именно горещите газове от горелката подгръват чист въздух (междинния агент), а той подгръва ламарината. Нискотемпературна е тъй като работните температури са под 400 градуса, което пък означава, че топлината се пренася само чрез конвекция и то в нашия случай принудителна. За разлика от разпространените такива в металургията и керамичната промишленост тук талигите са заменени с транспортна лента състояща се от закрепени една за друга подвижни рамки върху които се поставят листите ламарина, чието лаково покритие се изпича. Празните рамки от изхода се връщат към входа за ново зареждане преминавайки под самата пещ. Скоростта на транспортната лента може да се променя, което води до промяна на

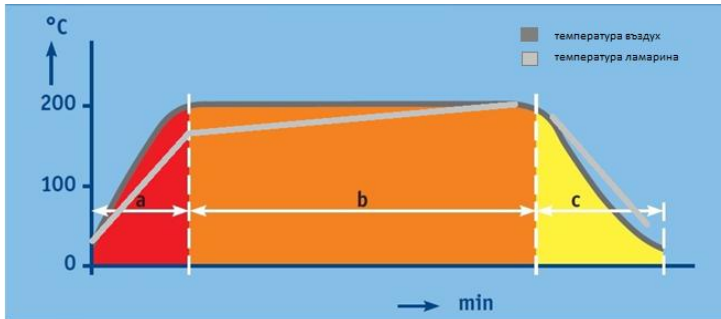
продължителността на обработка. Нормално времето за преминаване през пещта е в рамките на 15-20 минути, а температурата на изпичане е от 170 до 200 градуса.

Тъй като общата дължина на пещта е 50 метра, което я прави обект с разпределени параметри по дължината, тя е разделена на две зони, в които газовите горелки се управляват самостоятелно, с цел по-адекватно управление за всяка зона. Това е направено, тъй като от теорията е известно, че обекта с разпределени параметри може да се представи като множество от обекти със съсредоточени параметри с много по-малка дължина.



Фиг.1.9 Въздушни потоци и движение на материала в тунелната пещ.

На фиг. 1.9 се вижда движението на материала през пещта, показано със стрелки и посоката на въздушните потоци за подгряване и охлаждане.



Фиг. 1.12 Разпределение на температурата на листите ламарина по дължината на пещта.

На фиг 1.12 се вижда графиката на изменение на температурата на въздуха по дължината на пещта в тъмно сив цвят и температурата на листа ламарина в светло сив цвят.

Термодинамичните процеси в системата могат да се опишат с помоща на закона на **Newton-Richman** (3.1 и 3.1a) за принуден конвективен топлообмен в нестационарен режим, където са използвани означенията: $T(x, t)$ - температура на флуида (оборотен въздух в тунелната пещ), λ - коефициент на топлопроводност на средата; v - скорост на флуида, k - топлинна константа, c - топлинен капацитет, ρ - плътност на флуида, q - вектор на топлинния поток, Q - енергия на топлинния източник.

$$\rho c \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} + \nabla(-k \nabla T(x, t) + \rho c v T(x, t)) = Q \quad (1.1)$$

$$\lambda \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} + q = \rho c \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} \quad (1.1a)$$

Да се направи точно описание и модел на пещта на практика е невъзможно или твърде сложно,

поради твърде многото параметри, които трябва да се отчитат, нелинените зависимости между много от тях и невъзможността за провеждане на експерименти.

Също така заради конструктивното изпълнение на пеща, не можем да променяме управлението по координатата x . Това ни дава основание в точката в която се осъществява измерването, както и по почити цялата дължина на пеща, да приемем, че обекта може да се апроксимира с достатъчна точност с обект със съсредоточени параметри.

1.4. Подход за използване на размитото управление за регулиране.

Промишлените процеси като обекти за управление се характеризират със закъснения, голяма инерционност, нелинейност и промяна на параметрите. Едновременното отчитане на тези особености възпрепятства намирането на прост и същевременно точен модел на обекта, което затруднява пък синтеза на управление с използване на класически подходи.

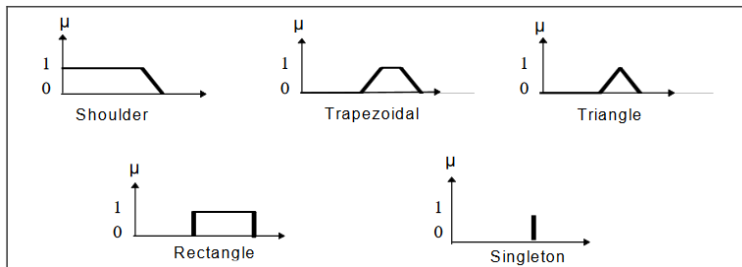
Методите на разрито управление успешно се прилагат за решаване на широк кръг задачи в различни области, където регулируемите обекти са нелинейни и с неточни и променящи се параметри.

1.4.1 Размити множества.

Лотфи Заде развива подход, който се различава от общоприетите количествени методи за

анализ и управление на системи, най-вече с използването на така наречените „лингвистични величини”.

Размитите функции на принадлежност са привлекателен начин да се представят някои идеи за истинността на твърденията и функциите на принадлежност. На фиг.1.16 са дадени някои от най-често ползваните функции за принадлежност в контролерите.



Фиг. 1.16 Най-често ползвани функции на принадлежност

1.4.2 Основни понятия и дефиниции, необходими за описанието на размит регулатор.

Дефинирани са понятията размити множества и операции с тях.

1.4.3 Регулатор с размита логика .

Общата структура на правила в размитите регулатори се дава по следния начин:

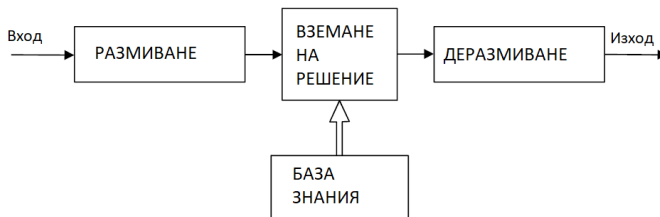
IF (A) THEN (B)

При тези системи лингвистичните десни части са от полулингвистичен (Singleton) вид (*..THEN y =*

$P[\mathbf{k}]$), където $P[\mathbf{k}]$ е полином от степен \mathbf{k} , в частен случай и константа ($\mathbf{k} = 0$). В този случай се търси центърът на тежестта посредством така наречения „метод на претегленото средно“ :

$$Y = \frac{\sum f_i * u_i}{\sum f_i}; \quad i = 1 .. N, \quad (1.2)$$

където N е броят на подмножествата на изхода, u_i е съответния сингълтон и f_i е степента на активиране на i - тото подмножество по отношение на изхода (респ. елемент на изходният вектор).



Фиг 1.18 Блок диаграма на размит регулатор

На фиг 1.18 е дадена блок диаграмата на размитие регулатор, описваща работата му.

1.5. Цел и задачи на дисертационния труд

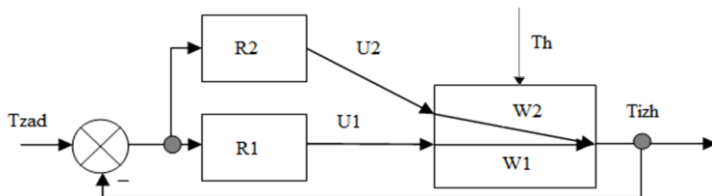
В тази подточка са формулирани целта и задачите на дисертационния труд, които са дадени в началото на автореферата.

ГЛАВА II.

СИНТЕЗ НА РАЗМИТИ РЕГУЛАТОРИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ТЕМПЕРАТУРА НА БАЗАТА НА PLC

2.1 Синтез на размит регулатор за управление на температурата на тунелна пещ

Разгледани са няколко варианта за управление, но в крайна сметка е избран единствения работоспособен за тунелната пещ, даден на фиг. 2.2.



Фиг. 2.2 Регулиране с два отделни контура за управление

Във фигурата са ползвани следните означения:

T_{zad} – зададена температура

R1 – първи регулатор (газова горелка)

R2 – втори регулатор (студен въздух)

U1 – първо управляващо въздействие

U2 – второ управляващо въздействие

W1 – предавателна функция на първия канал

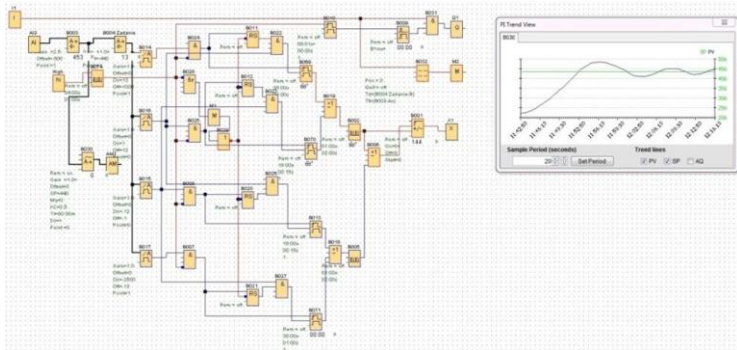
W2 – предавателна функция на втория канал

T_h – смущаващо въздействие

Ob – управляем обект

T_{izh} – изходна температура

2.1.1 Размит И регулатор

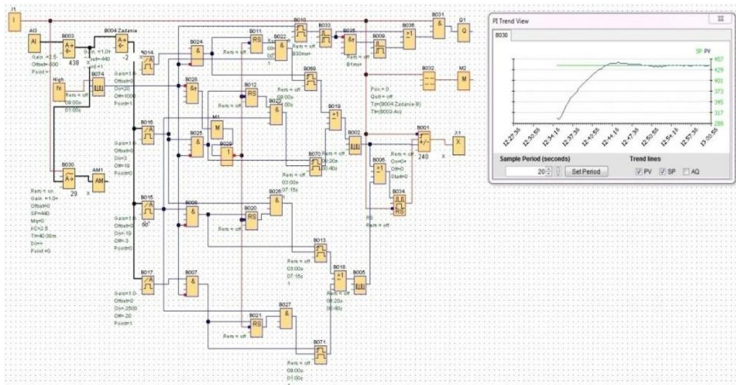


Фиг. 2.6 Размит И регулатор със стъпка на дискретизация 5s.

На фиг 2.6 е дадена програмната структура на реализираният И размит регулатор. След това е изследвано, кой параметър как влияе на показания преходен процес на същата фигура. Резултатите са онагледени с много фигури, от които се вижда, че въпреки голямата колебателност регулатора може да се настрои до желани от нас параметри с цената на компромиси.

2.1.2 Хибриден ПИ регулатор със стандартна (конвенционална) П съставна и размита И съставна.

На фиг. 2.17 е дадена структурата на хибридният ПИ регулатор и преходния процес получен с него. Изследвани са и неговите възможности за настройка, което е илюстрирано с много фигури с експериментални резултати.

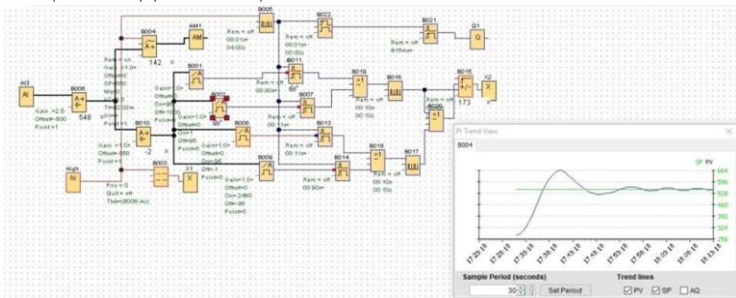


Фиг. 2.17 Хибриден ПИ регулатор

В крайна сметка може да се направи извода, че хибридният ПИ регулатор има много по-голямо бързодействие, много по-малка колебателност и по голяма точност.

2.1.3 Програма на опростен размит И регулатор

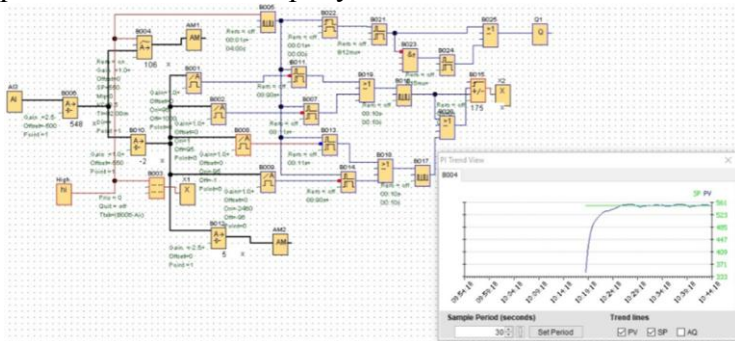
Разработена е програма на опростен И регулатор – фиг. 2.32, който може да се настрои по лесно от предходния и дава по-добри показатели, но страда от същите недостатъци.



Фиг. 2.32 Подобен интегрален размит регулатор

2.1.4 Подобен хибриден ПИ регулатор

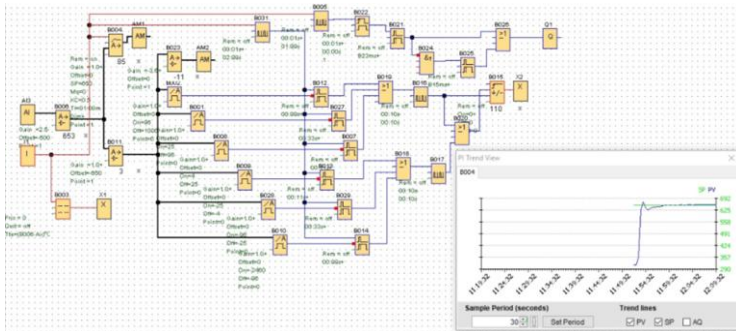
На фиг. 2.34 е дадена опростената и подобрена схема на хибридният ПИ регулатор и съответният му преходен процес. Процеса е много бърз, въпреки това е почти апериодичен и с много малки отклонения от зададената стойност в установен режим – 0.3 до +0.5 градуса.



Фиг. 2.34 Подобен хибриден ПИ регулатор.

2.1.5 ПИ хибриден с повече размити променливи.

В последния регулатор е увеличен броя на размитите променливи и са разделени тактовите генератори на ШИМ-а и измерването. Това позволява по-прецизна настройка на регулатора.



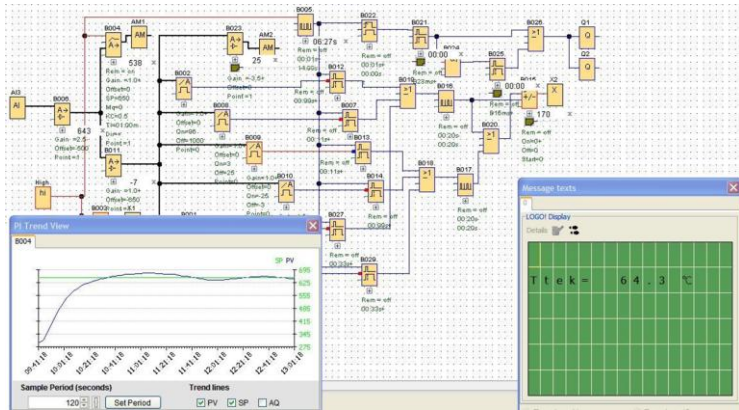
Фиг. 2.42 Регулатора с време за интегриране 3 секунди.

От фиг. 2.42 се вижда, че с този регулатор е постигнато много високо бързодействие, при минимално пререгулиране от 3%.

2.1.6 Използване на хибридният регулатор за „бавен температурен” обект.

На фиг. 2.48 е даден хибридният регулатор с единтактов генератор, след направени пренастройки за обект с многократно по-голяма времеконстанта.

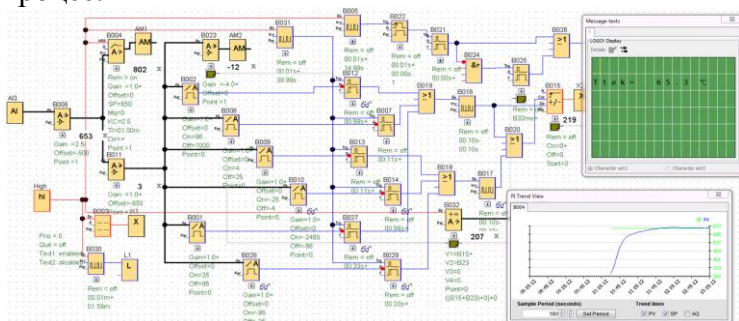
Вижда се, че регулатора работи добре и стожи обект, като единствената съществена промяна е времето на ШИМ-а, което е 15 секунди.



Фиг. 2.48 Регулятора с още два пъти намалена интегрална съставна.

2.1.7 Подобрен ПИ с отделни тактове на измерване и на ШИМ

Вижда се от фиг. 2.52, че регулятора с два такта позволява по добро настройване на преходния процес.



Фиг.2.52 Регулятора с увеличен такт на интегрирането(40 секунди).

Реализираните алгоритми в крайна сметка удовлетворяват високите изисквания за голяма

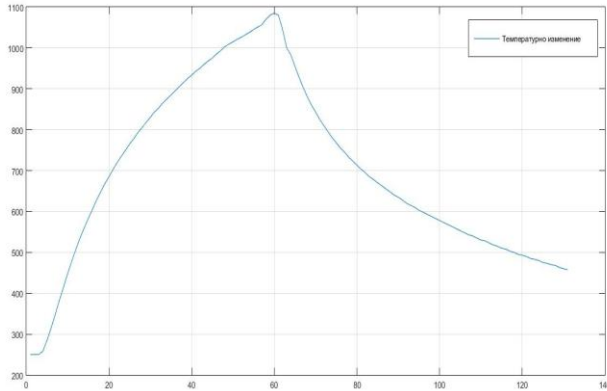
точност на регулирането, висока надеждност и ниска цена на апаратурата с която са реализирани. Позволяват да се настройват плавно и в голям диапазон пропорционалната и интегрална съставни, което ще ни позволи да оптимизираме настройката на системата. Вижда се също, че изменението на времеконстантата на обекта в широк диапазон, може да се компенсира с изменение на такта на ШИМ-а, без никакви промени на размитите променливи на регулатора и съответните им правила.

ГЛАВА III

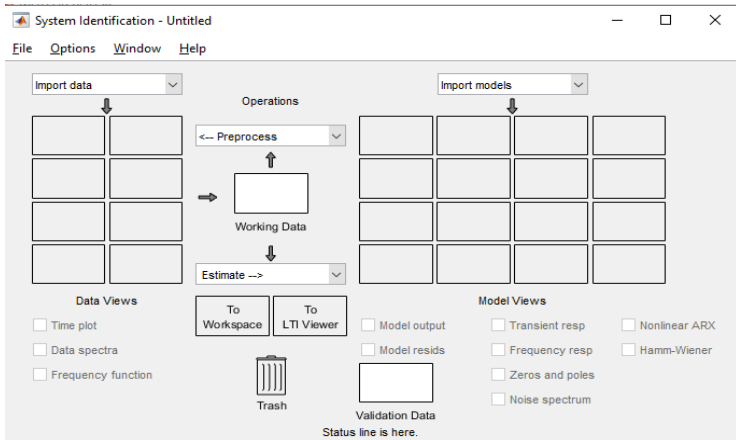
РАЗРАБОТВАНЕ НА МОДЕЛИ НА РЕГУЛАТОРА И ОБЕКТА В МАТЛАБ

3.1 Модел на „бавен топлинен” обект с пропорционален изпълнителен механизъм

Данните за реалният обект са снети с помоща на опитна постановка, като от програмата заложена в LOGO! се подава степенчато към обекта мощност от 2,5%. Времето през което са направени отчетите е 180 секунди, като общият брой отчети е 131. Снетите експериментално данни от фиг. 3.2 се задават, като входни данни за управлението и изходната температура на обекта в „System Identification Toolbox” на MATLAB, показан на фиг 3.3.



Фиг.3.2 Графика на записания процес от функцията Data Logger.



Фиг.3.3 Прозорец „System Identification Toolbox”.

Използвайки възможностите на гореописания тулбокс, получаваме различни процесни модели, от които накрая избираме,

най-близкия до експерименталните данни, модел от първи ред със закъснение, показан на фиг. 3.6. При което се получава $K_{об} = 34.072$, а T_{p1} (времеконстантата на обекта) има стойност от 4785 секунди. T_d (времето на закъснението) има стойност от 13.86 секунди.

На база горните данни за обекта и преди това създадения модел на регулатора е получена следната схема за симулация на системата в MATLAB/Simulink– фиг. 3.7.

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	<input type="checkbox"/>	34072.7356	Auto	[-Inf Inf]
Tp1	<input type="checkbox"/>	4785.3696	Auto	[0 4763268.]
Tp2	<input type="checkbox"/>	0	0	[0 Inf]
Tp3	<input type="checkbox"/>	0	0	[0 Inf]
Tz	<input type="checkbox"/>	0	0	[-Inf Inf]
Td	<input type="checkbox"/>	13.86	Auto	[0 5400]

Initial Guess

Auto-selected

From existing model:

User-defined

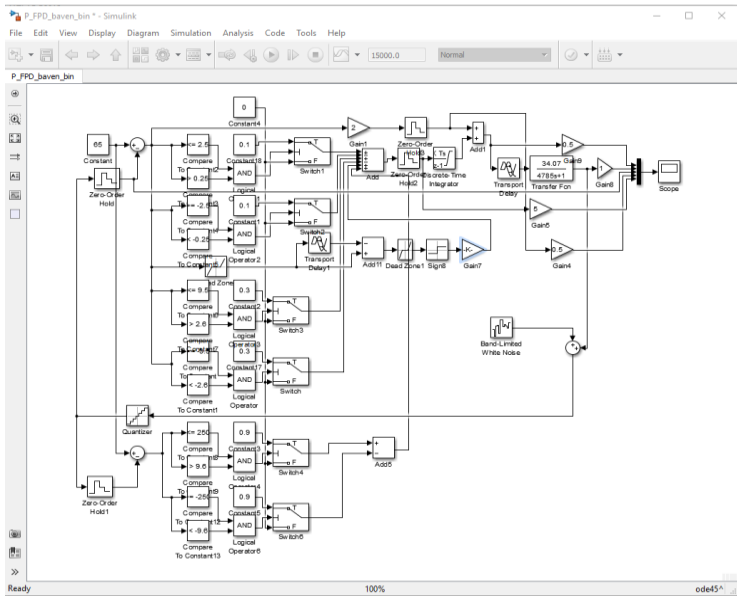
Disturbance Model: Initial condition:

Focus: Covariance:

Display progress

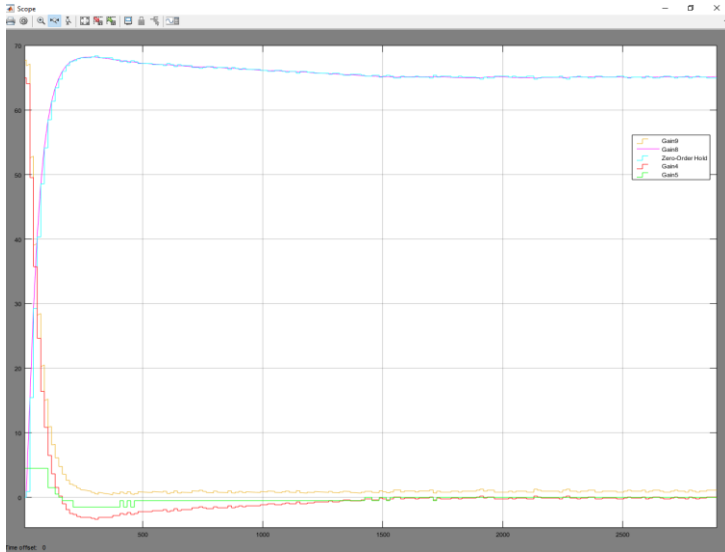
Name:

Фиг.3.6 Прозорец „Process Models”



Фиг. 3.7 Модел на системата в MATLAB/Simulink

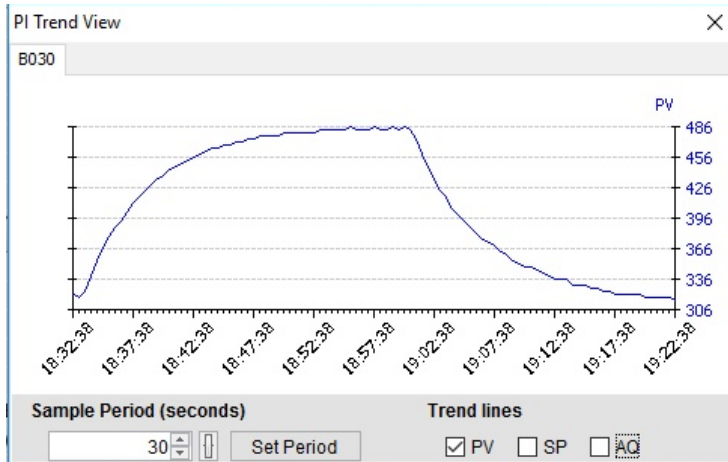
На фиг. 3.8 се вижда преходния процес на изхода на обекта и изходите на регулаторите, след предварителна настройка на коефициентите им.



Фиг. 3.8 Преходен процес на изхода на обекта и на изходите на регулаторите.

3.2 Модел на „бързия топлинен” обект с пропорционален изпълнителен механизъм.

По същият начин е заснет експериментално процес и за „бързия топлинен” обект, даден на фиг. 3.11, след което е извършена идентификация по аналогичен начин на предходния обект. Подадено е мащабирано единично входно въздействие до момента на установяване на изхода, след което на входа се изключва подаваната мощност до достигане на температурата на околната среда.



Фиг. 3.11 Преходен процес на изхода на обекта.

В крайна сметка отново се оказва, че най-точно се апроксимира обекта от процесния модел от първи ред със закъснение със следните параметри:

PID =

Process model with transfer function:

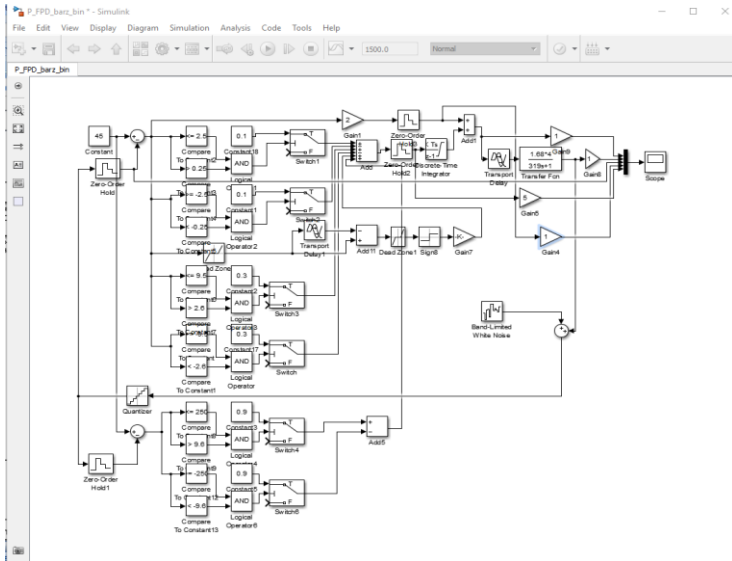
$$G(s) = \frac{K_p}{1+T_{p1}s} * \exp(-T_d*s)$$

$$K_p = 1.6843 \pm 0.0036606$$

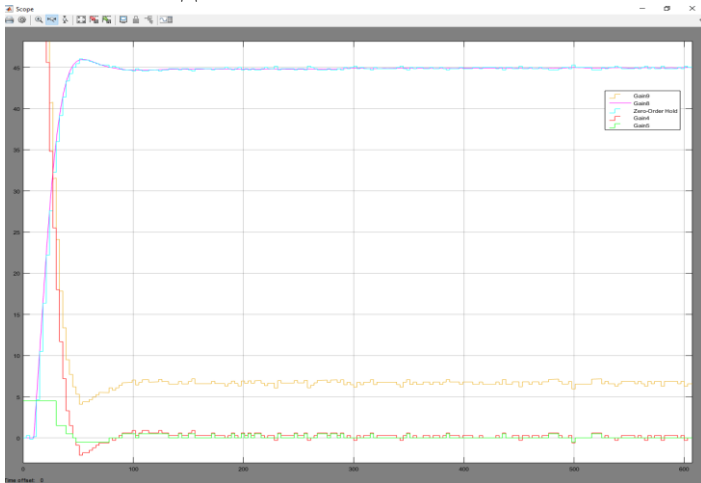
$$T_{p1} = 318.78 \pm 3.5773$$

$$T_d = 9.69 \pm 2.5572$$

На фиг. 3.15 е даден модела на цялата система с „бърз топлинен” обект и регулатор, а на фиг. 3.16 се вижда преходния процес на изхода на обекта и регулаторите.



Фиг. 3.15 Модел на системата в MATLAB/Simulink.



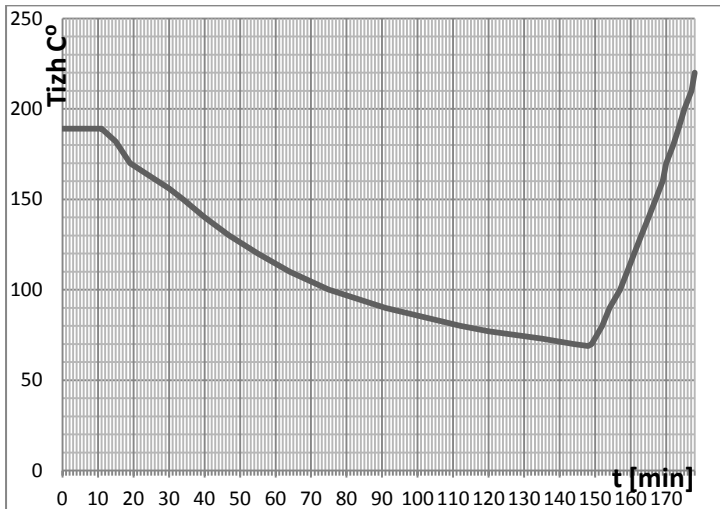
Фиг. 3.16.Преходен процес на изхода на обекта и на съставните на регулатора.

3.3 Бавен топлинен обект с интегрален изпълнителен механизъм (тунелна пещ)

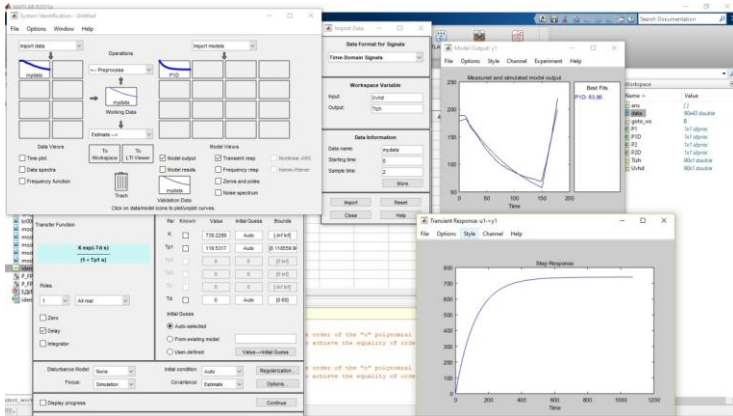
3.3.1 Разработване на модел на обекта

На базата на експериментално снети данни, показани на фиг. 3.17, се получава следният най-приемлив модел на обекта посредством идентификация в MATLAB – фиг. 3.18. Като се вижда, че за този модел съвпадението е по-лошо от предходните. В крайна сметка приемаме, че обекта има следната предавателна функция:

$$W1 = \frac{7,4}{120s + 1} e^{-2s} \quad (3.2)$$



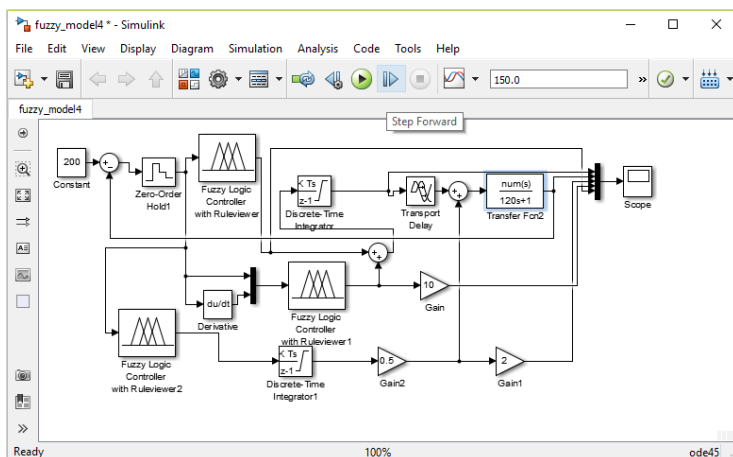
Фиг. 3.17 Експериментални данни за обекта



Фиг. 3.18 Идентификация с MATLAB на обекта

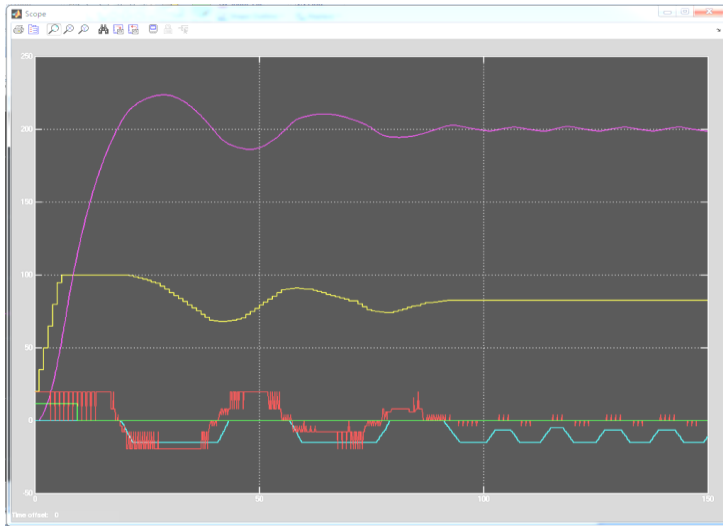
3.3.2 Моделиране на системата с помощта на MATLAB / SIMULINK

На базата на данните получени за обекта и разработената структура на регулатора е изграден модел на системата в MATLAB / SIMULINK, като са отразени всички особености на реалните изпълнителните механизми. Те са серво задвижвания, които на практика могат да се приемат за интегриращи звена с ограничение. Отражена е и дискретизацията на аналоговия сигнал по ниво, произтичаща от точността на аналого-цифровия преобразувател, а също и дискретизацията по време, произтичаща от това че системата за управление е цифрова. Модела е даден на фиг. 3.19.



Фиг. 3.19 Модел на системата в MATLAB/Simulink.

След подробно описание на елементите на регулаторите и тяхната работа, илюстрирана с няколко фигури, е даден и крайния резултат на фиг. 3.24. Кривата най-отгоре е на изхода на обекта, под нея е тази на сумарното въздействие на регулатора управляващ горелката, след интегриране, а под тях се виждат пропорционалната и диференциална компонента на същия регулатор и работата на регулатора упражняващ жалюзите за студен въздух.

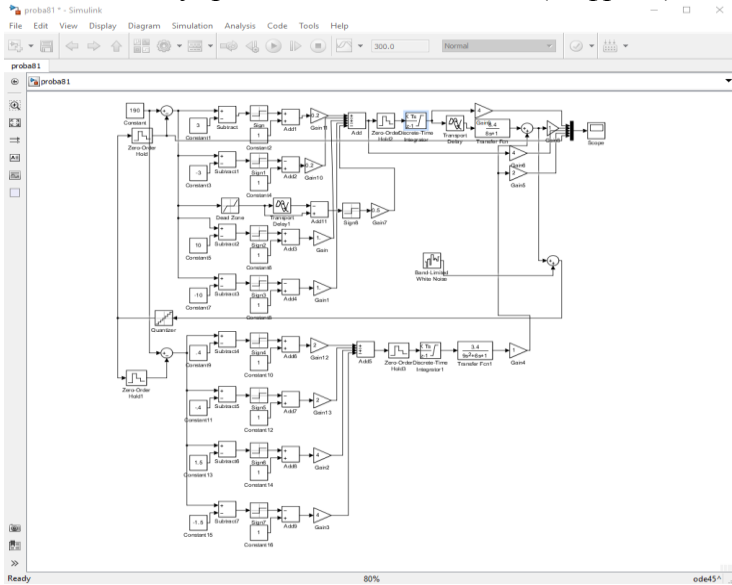


Фиг. 3.24 Изход на системата и всички регулатори.

3.3.3 МОДЕЛИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА PLC-БАЗИРАН РАЗМИТ РЕГУЛАТОР

На базата на съставената по рано структура на цялата система са изградени подобрени модели на регулаторите на горелката и на решетката в MATLAB / SIMULINK, като са отразени всички особености на програмната реализация на регулаторите и особеностите на реалните изпълнителни механизми. Отразена е и дискретизацията на аналоговия сигнал по ниво, произтичаща от точността на аналого-цифровия преобразувател която е $0,25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а също и

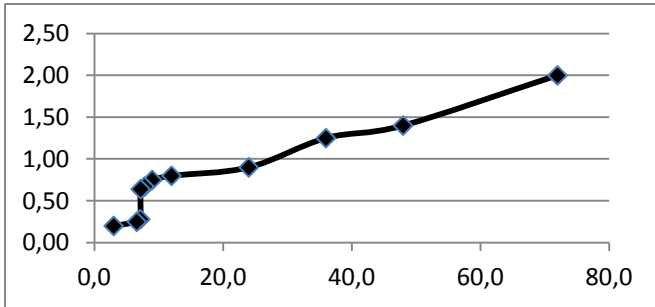
дискретизацията по време, произтичаща от това че системата за управление е на база PLC (цифрова).



Фиг. 3.28 Модел на системата в MATLAB/SIMULINK.

На Фиг. 3.28 е дадена общата схема на системата за управление и обекта в Simulink, след това са обяснени подробно компонентите и работата им.

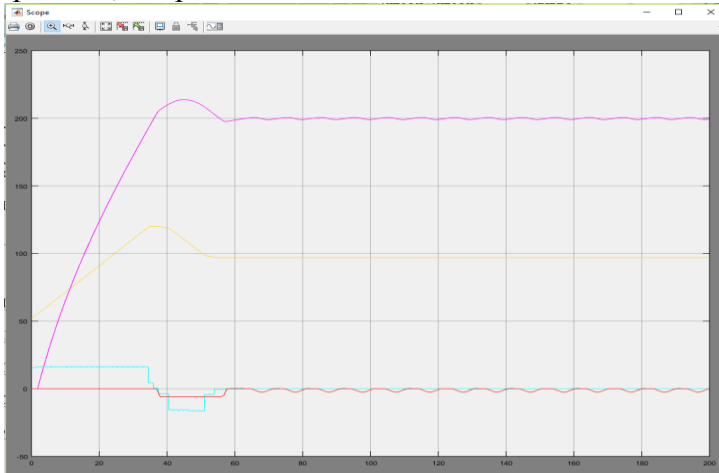
Изследвано е влиянието на периода на дискретизация върху максималната грешката в системата, дадено в графиката на фиг. 3.30.



Фиг. 3.30 Зависимост на грешката от времето на дискретизация.

На фиг. 3.34 е даден изходния резултат от работата на системата, а именно изхода на обекта и регулаторите.

Колебанията в системата в установен режим са от $+0.5$ до -1.0 градуса, което е в допустимите граници, според изискванията на възложителя.



Фиг. 3.34 Преходни процеси на изхода на регулаторите и на цялата система.

ГЛАВА IV ОПТИМИЗИРАНЕ НАСТРОЙКАТА НА РАЗМИТИЯ РЕГУЛАТОР

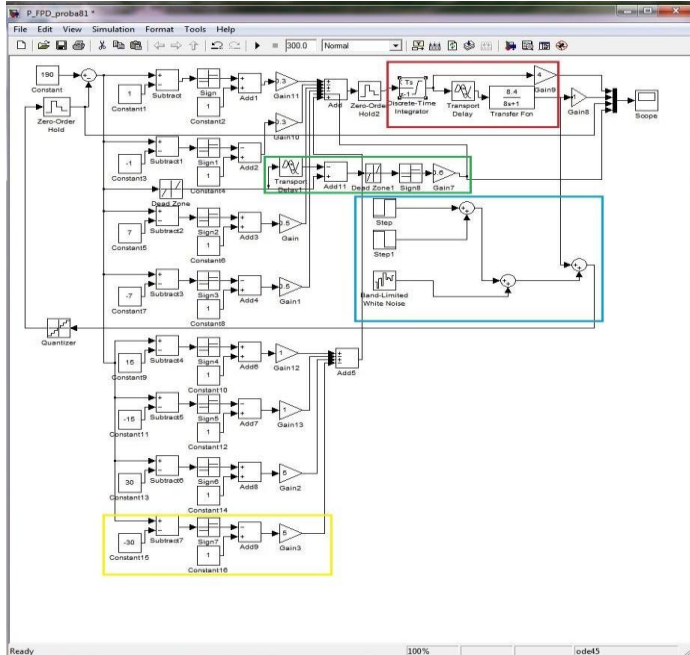
4.1 ЕДИН ПОДХОД ЗА НАСТРОЙКА НА РАЗМИТ ПД РЕГУЛАТОР РЕАЛИЗИРАН С PLC

4.1.1 Описание на МОДЕЛА на ПД регулятора реализиран в PLC

Описанието на самия обект е дадено в предходните глави. Избран е ПД размит регулатор, понеже разработеният вариант е лесно реализуем в програмируеми контролери дори от нисък клас. Реално използваният контролер, в който е заложен регулатора е SIEMENS LOGO!. В крайна сметка се получава регулиране, като от ПИ регулатор, понеже самия обект е с интегриращи свойства.

На Фиг. 4.1 е даден модела в MATLAB/SIMULINK на ПД регулатора и обекта (ограден в червено). Вижда се че се състои от последователно свързани интегриращо звено с ограничения, звено с чисто закъснение и апериодично звено. В син правоъгълник са оградени звената симулиращи смущенията в системата, които се добавят в измервания сигнал. Те са две в случая, първото се симулира с блокче бял шум с амплитуда 0.3 градуса, работещо през цялото време, симулиращо постоянния шум при измерване на сигнала в системата и второто което симулира примерно спиране на печатащата машина между 200 и 210 минута, но линията за изпичане продължава да

върви, което води до 10 минутен пик в измерената температура. Всичко извън тези правоъгълници симулира работата на ПД регулатора в контролера.



Фиг. 4.1 Модел на системата в MATLAB/SIMULINK

Дадени са таблиците по които работят размитите регулатори и е обяснено подробно как работят.

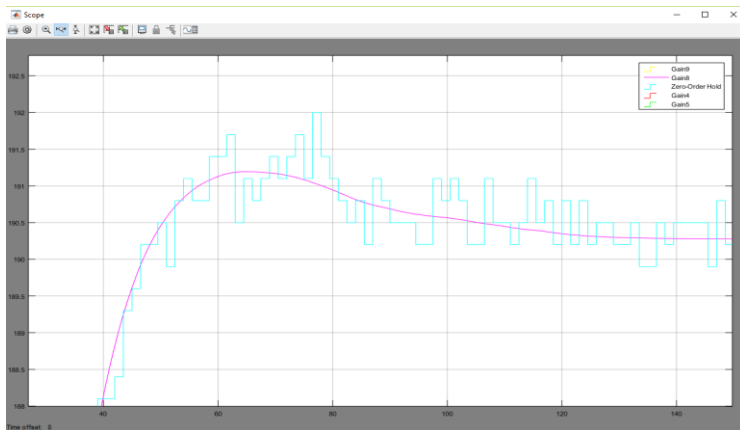
4.1.2 НАСТРОЙКА НА РАЗМИТИЯ РЕГУЛАТОР

След като е прието, че таблиците на регулаторите са попълнени коректно на база експертни знания, се избират два параметъра за донастройка на

регулатора. От съображения за реалните възможности в програмата на регулатора и отразяващия го модел, за такива са избрани K_p – общия коефициент на сумарното ($\Pi + D$) управляващо въздействие (за такъв в модела се използва коефициента на интегриращото звено) и K_d – тегловния коефициент на диференциалната съставяща (в модела се задава в Gain7).

Първоначално са зададени произволни стойности на K_p и K_d – примерно 1 (по подразбиране в MATLAB). При тези стойности се получава незатихващ преходен процес с амплитуда на автоколебанията малко над 2 градуса. Намаляваме с порядък K_p или стойността му става 0.1. Получава се колебателен но затихващ процес. Намаляваме го с още един порядък на 0.01. При това положение процеса все още е колебателен, но затихва много бързо след първото отклонение и при $K_p = 0.001$ процеса вече е монотонно нарастващ, като за разглежданото време не достига зададената температура. Започваме да увеличаваме стойността на коефициента през 0.001 и виждаме, че при стойност 0.007 процеса е все още монотонен, при 0.008 е колебателен с пререгулиране около 1 градус (Фиг. 4.3), а при 0.009 е с пререгулиране над 2 градуса. Съществената част от резултатите е дадена в Таблица 4.2. Тъй като се опитваме да оптимизираме два параметъра, а именно точност на регулиране 1 градус и същевременно минимално време на преходния процес, които взаимно си противоречат, трябва да намерим оптимум, който да е компромис между двата показателя, като точността все пак е с приоритет.

Затова след като сме достигнали необходимата точност при $K_p=0.008$ започваме да изменяме K_d с цел да получим минимално време на преходния процес. Резултатите са дадени в Таблица 3. В крайна сметка се вижда че оптимумът се получава при $K_d=0.8$ (Фиг. 4.4).



Фиг. 4.3 Преходен процес при $K_p=0.008$

Табл. 4.2 Резултати при изменение на K_p и $K_d=1$

K_p	Макс. амплитуда(C^0)	време на прех. проц. (мин.)
0.01	194.3	130
0.009	192.1	92
0.008	191.2	78.5 (42.5)
0.007	189.7	68
0.006	189.6	150

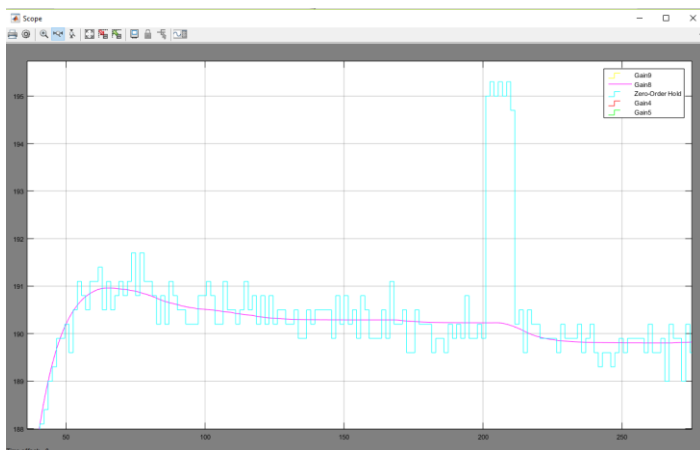
От Таблица 4.2 се вижда, че има минимум на времето на преходния процес при изменение на K_p ,

като в случая се взема времето до момента в който отклонението влезе в границите на $\pm 1C^{\circ}$. Стойността в скоби за времето на преходния процес е отчетена при положение, че пренебрегнем надхвърлянето с 0.2 градуса на допустимото отклонение, тъй като е по малко от точността на измерване на АЦП-то на контролера.

Табл. 4.3 Резултати при изменение на Кд при $K_p=0.008$

Кд	Макс. амплитуда(C°)	време на прех. проц.(мин.)
2	192.3	100
1	191.2	42.5
0	190.01	50.5
0.5	190.7	45.5
0.6	190.8	45
0.7	190.9	44.5
0.8	191	43.5

От Таблица 4.3 също се вижда, че при изменение на Кд има минимум на времето на преходния процес, който се доуточнява с изменение на Кд между 0 и 1 със стъпка с един порядък по малка. Минималната стойност на времето на преходния процес без да надхвърляме 1 градус пререгулиране се получава при $K_d=0.8$, а полученият преходен процес е показан на Фиг. 4.4.

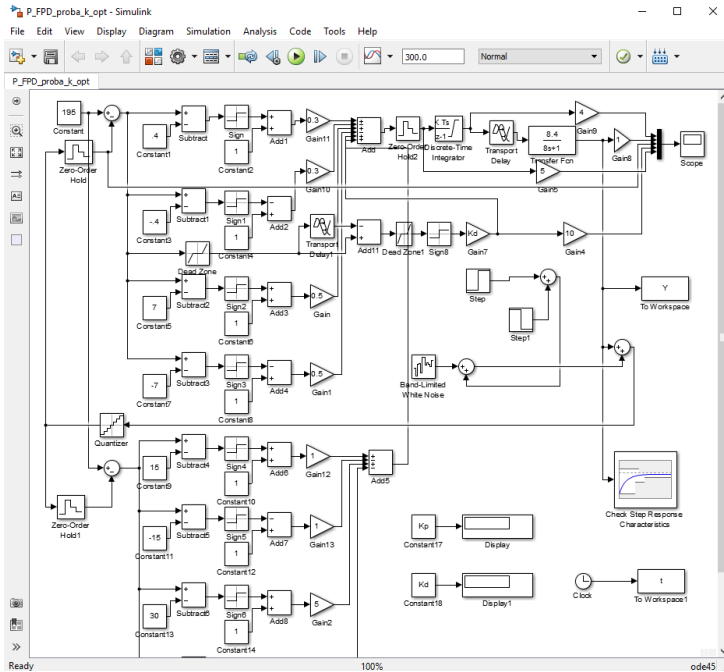


Фиг. 4.4 Преходен процес при $K_p=0.008$ и $K_d=0.8$

4.2. Оптимизиране на процеса с MATLAB

4.2.1 Оптимизиране на параметрите на регулатора за тунелна пещ

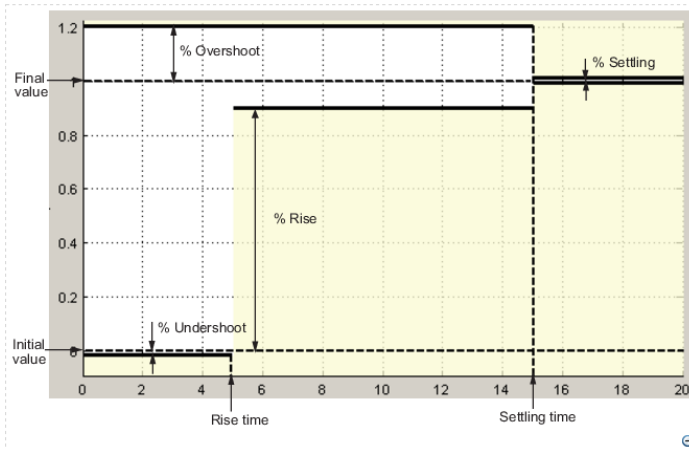
Това може да стане като в модела на системата се въведе блокчето Check Step Response Characteristics, което избираме от подменюто Simulink Design Optimization/Signal Constraints. На фиг. 4.9 е даден модела на симулираната система с добавени необходимите блокове за стартиране на оптимизацията.



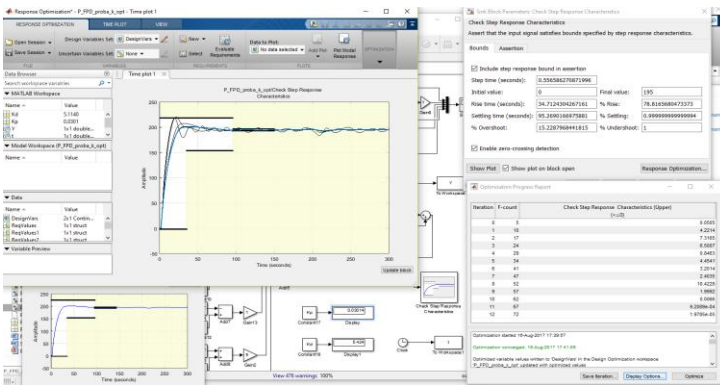
Фиг. 4.9 Модел използван за оптимизация на параметрите на регулатора

На фиг. 4.11 в графичен вид се вижда, кой параметър какъв величина на графиката променя.

След задаване на параметри за оптимизацията на процеса, на фиг. 4.15 се вижда резултата за двата оптимизирани параметъра K_p – коефициент на пропорционалната съставна и K_d – коефициент на диференциалната съставна.



Фиг. 4.11 Параметри на оптимизацията.

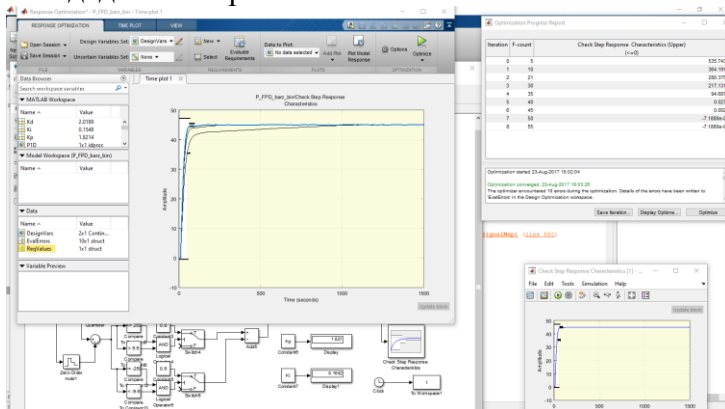


Фиг. 4.15 Прозорци на оптимизационната процедура

4.2.2. Настройка бърз топлинен процес оптимизиране

По същият начин с помощта на MATLAB/Simulink е направена оптимизация и на системата с бърз топлинен обект. Настройчните

параметри са други, тъй като тук регулатора е ПИ, а именно K_p и K_i . След задаване на ограниченията за оптимизация с осем итерации се стига до много бърз процес при това без колебания (синята линия на фиг. 4.20), който отговаря на нашите изисквания. Виждат се и другите итерации (в черно), които не отговарят на зададените ограничения.



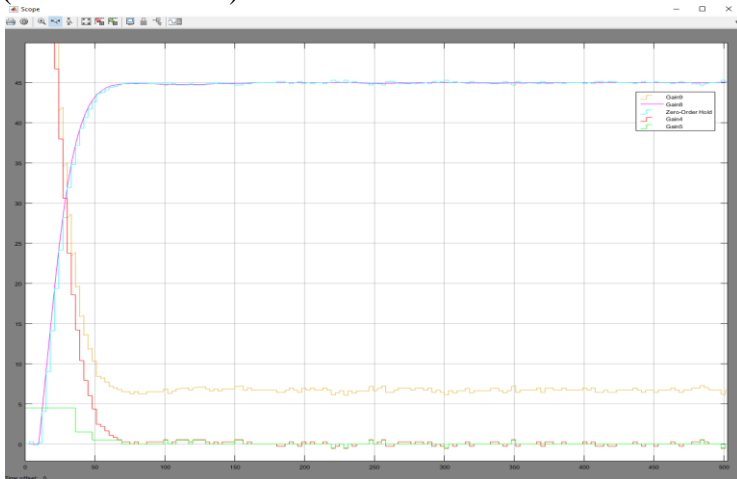
Фиг. 4.20 Прозорци от оптимизационната процедура на бързия обект.

На фиг. 4.21 са дадени изходите на отделните компоненти на регулатора, както и изхода на обекта във виолетово и измерения изход от PLC с насложен в него шум (светло син).

4.2.3. Настройка бавен топлинен процес оптимизиране

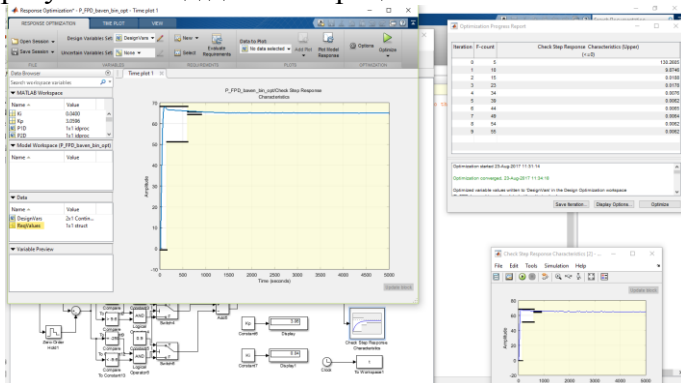
Същата процедура е изпълнена и за бавния топлинен обект. Разликата е само в модела на обекта и то по-скоро в параметрите, но не и в структурата му. Също така са променени времената през които се извършват измерванията, като са

променени времената на фиксаторите от нулев ред (Zero-Order Hold).



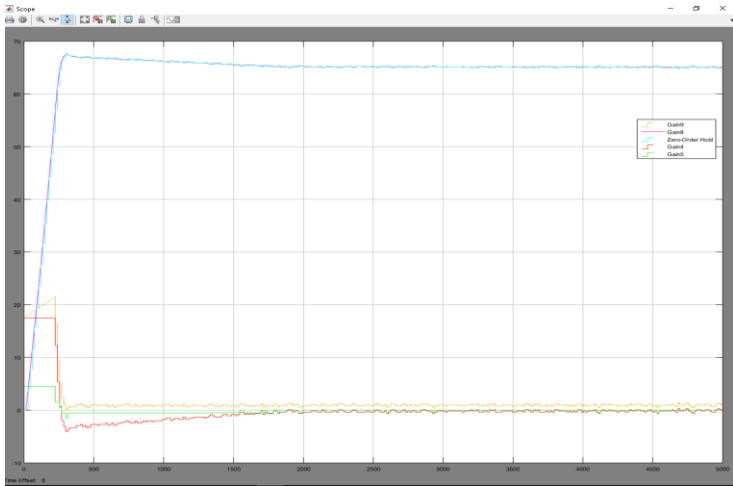
Фиг. 4.21 Изходи на обекта и регулаторите след оптимизиране.

На фиг. 4.24 се вижда стартираната оптимизация след задаване на ограничения и резултата след девет итерации.



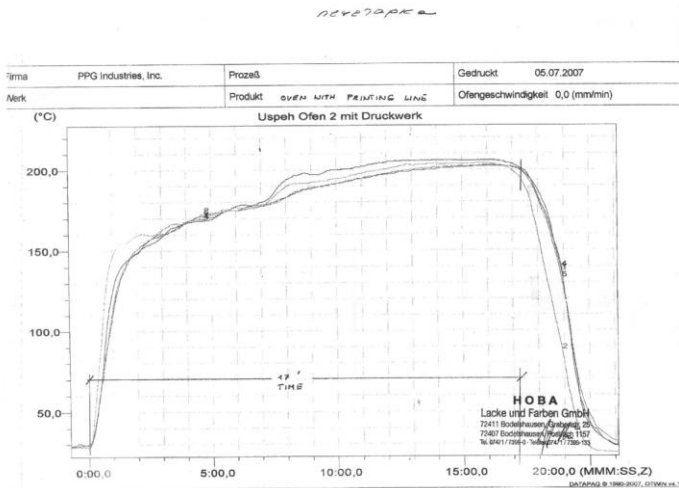
Фиг. 4.24 Прозорци от оптимизацията на регулатора за бавния обект.

На фиг. 4.25 е дадена графиката на преходния процес на изхода на обекта и изходите на отделните компоненти на регулатора, както и сумарното управляващо въздействие. Вижда се че процеса достига максимално бързо до заданието и след минимално пререгулиране се установява .



Фиг. 4.25 Преходни процеси на изхода на обекта и регулаторите.

От графиката се вижда че времето за достигане на заданието е около 250 секунди, а максимумът е 67.4 или 3.6% пререгулиране. Точността в установен режим е 0.3 градуса. Това напълно съответства на експериментално постигнатите резултати на реалния обект.



Фиг. 4.27 Запис на температурата на тунелната пещ по дължината и.

На фиг.4.27 е даден записа на температурата по продължение на пеща, като датчиците са разположени в четирите ъгъла на листа ламарина. Записа е направен със специализиран регистратор на данни (DateLogger), по време на инспекция от немската фирма производител на тунелната пещ. Вижда се, че температурите са с допустими отклонения, като най-малки са те в първата зона управлявна от развития регулатор. Това гарантира равномерното изпичане на лака.

ОСНОВНИ ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

От направените реални експерименти се вижда, че целта на разработката е постигната. С показаните подходи може да се оптимизират настройките на регулаторите за различни по характер топлинни обекти, на базата на модели и след това да се пренесат на реалната система.

1. Разработени са структури на различни размити регулатори, на база на логически контролери от нисък клас, като те отговарят на много високите изисквания за динамична и статична точност.

2. Изследвана е работата на разработените размити регулатори с различни обекти от пропорционален и интегриращ тип и са приложени за реалния обект – тунелна пещ.

3. Симулирана е в MATLAB работата на разработените размити регулатори с получените модели на обектите, посредством идентификация с тулбокса на същия продукт.

4. Разработени са и предложени два подхода за оптимизиране настройката на регулаторите за съответните обекти.

5. Експериментално е проверена и потвърдена работата на моделно настроените регулатори с реалните обекти.

Научно - приложни приноси:

1. Разработени са алгоритми и програмни структури на размит И и хибриден ПИ регулатори за контролери от нисък клас. Приложени са както за управление на физически модели на обекта, така и за

управление на реалния обект – тунелна пещ с дължина 50 м, като са постигнати желаните резултати за качество на процеса.

2. Разработени са модели на програмно реализираните регулатори в MATLAB/Simulink с цел извършване на предварителна моделна настройка, поради трудност тя да се извърши върху реалния обект, поради големите загуби при експериментите.

3. Предложени са два подхода за настройка (квази оптимизация) на коефициентите в модела на регулатора, като първият е итерационен с променлива стъпка, а втория се базира на възможностите на MATLAB/Simulink за настройка на определени параметри по зададени изисквания за преходния процес.

Приложни приноси:

1. Разработени са два стенда реализиращи физически модели на температурни обекти с много различаващи се параметри, което позволява тестването на различни регулатори реализирани в PLC.

2. Създадени са модели на регулаторите в Simulink, които позволяват да се тества работата на регулаторите с различни модели на обекти в симулационен режим.

3. Получените резултати са внедрени в реални обекти, като тунелна пещ за изпичане на ламарина и подгриване на суровината за производство на биодизел, за което са приложени удостоверения от потребителите.

НАУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

[A1] Джибаров Д., Узунов В., „Програмен продукт за оптимизация на системи с дискретни регулатори”, – Национална конференция „Автоматика и информатика’93” – 18-19.10.1993г.

[A2] Uzunov V., “Implementation of fuzzy control for an object with distributed parameters based on a Siemens LOGO controller.” MEEMГ’05, 7-9 October, TU-Varna, Vol. IV, pp. 11÷14, 2005

[A3] Узунов В., П.Петров, „Моделиране на система за регулиране на температурата на тунелна пещ”, изнесен в секция „Технически науки” за 26. октомври 2012, отпечатана в ИЗВЕСТИЯ НА СЪЮЗА НА УЧЕНИТЕ – ВАРНА , СЕРИЯ “ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ” бр.1/2012, ISSN 1310-5833, стр. 74-78

[A4] Узунов В., „Моделиране и изследване на PLC-базиран размит регулатор” – Годишник на ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ–ВАРНА, 2014 г.

[A5a] Узунов В., „НАСТРОЙКА НА РАЗМИТ РЕГУЛАТОР РЕАЛИЗИРАН С PLC” – Международна конференция АВТОМАТКА И ИНФОРМАТИКА’2016, CD: ISSN 1313-1869, PROCEEDINGS: ISSN 1313-1850, София, 4-5 октомври, 2016г.

[A5b] Uzunov V., “ONE WAY OF TUNING A FUZZY PD CONTROLLER IMPLEMENTED WITH PLC”, сп. “Information Technologies and Control”, бр. 4, 2016 г., стр. 27-32

Удостоверения за внедряване:

[В1] Документ за внедряване през юни 2004г. на разработения размит регулатор за управление на температурата на първа секция на тунелната пещ от „Успех Металпринт ССБ” ЕООД.

[В2] Документ за разработване и внедряване на алгоритми за управление, включително и регулатор на температурата на входната суровина по договор 111/11.11.08 г. на ТУ-Варна по ФИНАНСОВА СХЕМА ЗА ПОДКРЕПА НА ТРАНСФЕРА НА ЗНАНИЯ КЪМ ПРЕДПРИЯТИЯ (ВАУЧЕРНА СХЕМА) – „Йерархично управление с ПЛК на инсталация за биодизел” за нуждите на „Рапид Ойл” ООД от фирма „КАСИ Аутомейшън” ЕООД.

УЧАСТИЕ В НАУЧНИ ПРОЕКТИ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

[С1] Договор 111/11.11.2008г. на ТУ-Варна по ФИНАНСОВА СХЕМА ЗА ПОДКРЕПА НА ТРАНСФЕРА НА ЗНАНИЯ КЪМ ПРЕДПРИЯТИЯ (ВАУЧЕРНА СХЕМА) – „Йерархично управление с ПЛК на инсталация за биодизел” с ръководител доц. П Петров.

[С2] Петър Петров, Овид Фархи, Велко Наумов, Мариана Тодорова, Цоло Георгиев, Никола Николов, Диан Джибаров, Веско Узунов, Мариела Александрова и др. – „**Възможности за анализ и синтез на сложни системи с приложение за автоматизиране на производството на биодизел**” - резюме, Годишник на ТУ-Варна, том I, Варна 2010г.

[С3] М. Тодорова и колектив, „Дистанционно управление на електромеханични системи и обекти с разпределени параметри”, резюме, Годишник ТУ-Варна, ISSN 1311 896X, 2011г.

[С4] М. Тодорова, Н.Николов, В.Узунов и колектив „Разработване и изследване на модели и алгоритми за управление на топлинни и електромеханични обекти и система за контрол на разхода на гориво”- резюме, Годишник на ТУ-Варна, Варна ISSN 1311 896X, 2013г.

[С5] М. Тодорова, Н.Николов, В.Узунов и колектив "Синтез и изследване на алгоритми за интелигентно управление на процеси и механизми" - резюме, Годишник на ТУ-Варна, Варна ISSN 1311 896X, 2014г.

[С6] Н. Атанасов, В. Узунов, „Разработване на системи за размито и адаптивно управление на класове обекти” - резюме, Годишник на ТУ-Варна, Варна ISSN 1311 896X, 2015г.

[С7] Н. Николов , В.Узунов, Д.Джибаров ... „Моделиране и управление на нелинейни и нестационарни обекти” - резюме, Годишник на ТУ-Варна, Варна ISSN 1311 896X, 2016г.

Abstract:

Some industrial processes are nonlinear with large delays. This causes instabilities and many difficulties for the system tuning. The present PhD thesis introduces two methods for fuzzy PD controller tuning, for a nonlinear object with a large delay and integrator in its structure. The simulations and modeling are held in MATLAB / SIMULINK environment, aiming to investigate the control process of a tunnel kiln section, used for metal sheets coverage processing. The simulated system is considered with a continuous object with distributed parameters and a heat control system, consisting of two fuzzy controllers in both channels. The simulation and respective results shows that the presented options assist for much better and easier system setup.