Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра автоматизації та приладобудування

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА
кваліфікаційної роботи

магістра
(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»
(шифр і назва галузі знань)

спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(код і назва спеціальності)

освітній рівень магістр
(назва освітнього рівня)

на тему: «Дослідження та синтез системи автоматичного управління температурою повітря у паровій конвеєрній сушарці»

Виконавець: *ст. гр.* 151м-18 Ковтун М.С.

Керівник: доц. Бубліков А.В.

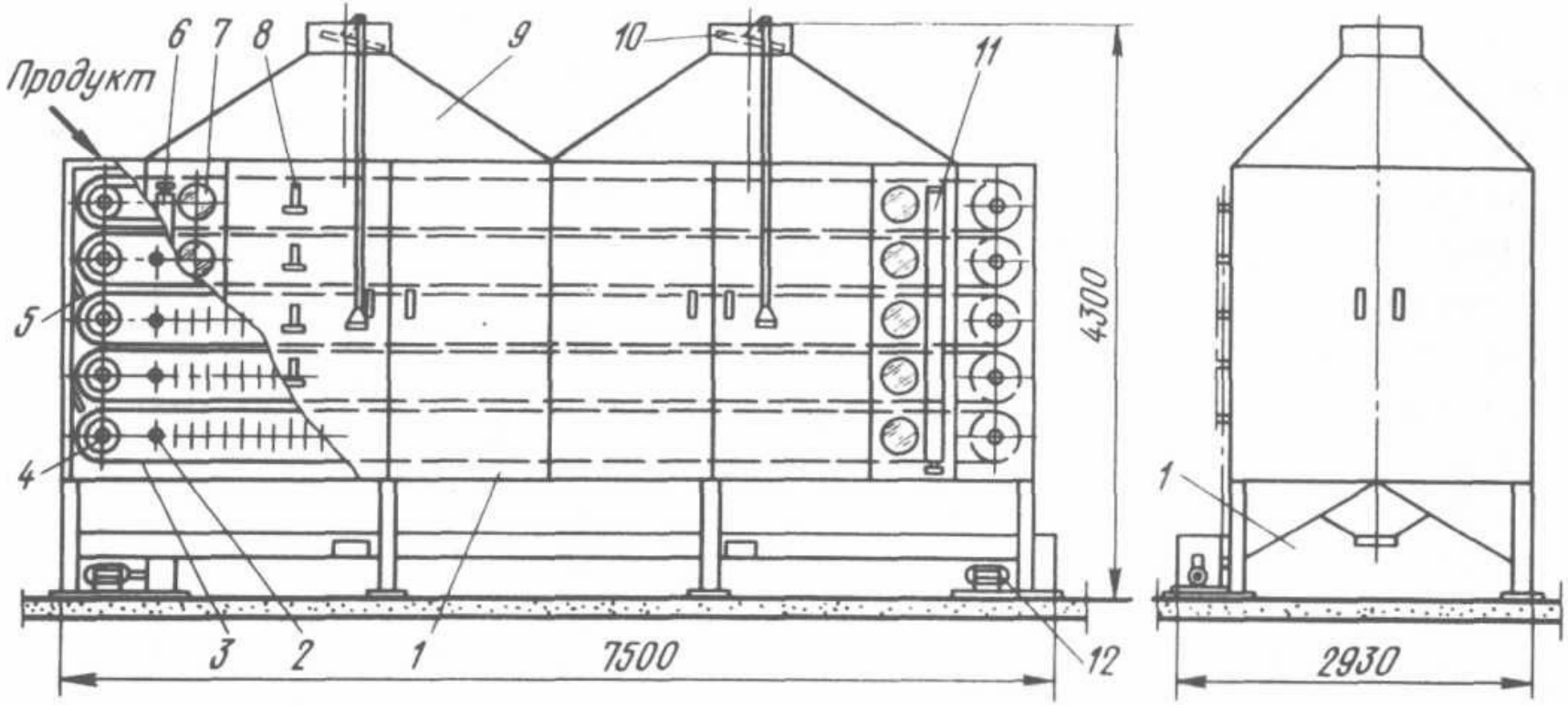
Дніпро
2019

Метою проекту є підвищення ефективності роботи парової сушарки за рахунок покращення показників якості процесу автоматичного керування температурою усередині сушарки.

Об'єкт дослідження – процес автоматичного керування температурою усередині парової сушарки.

Предмет дослідження – закони та алгоритми автоматичного керування температурою усередині парової сушарки.

Технологічна схема процесу сушіння макаронних виробів



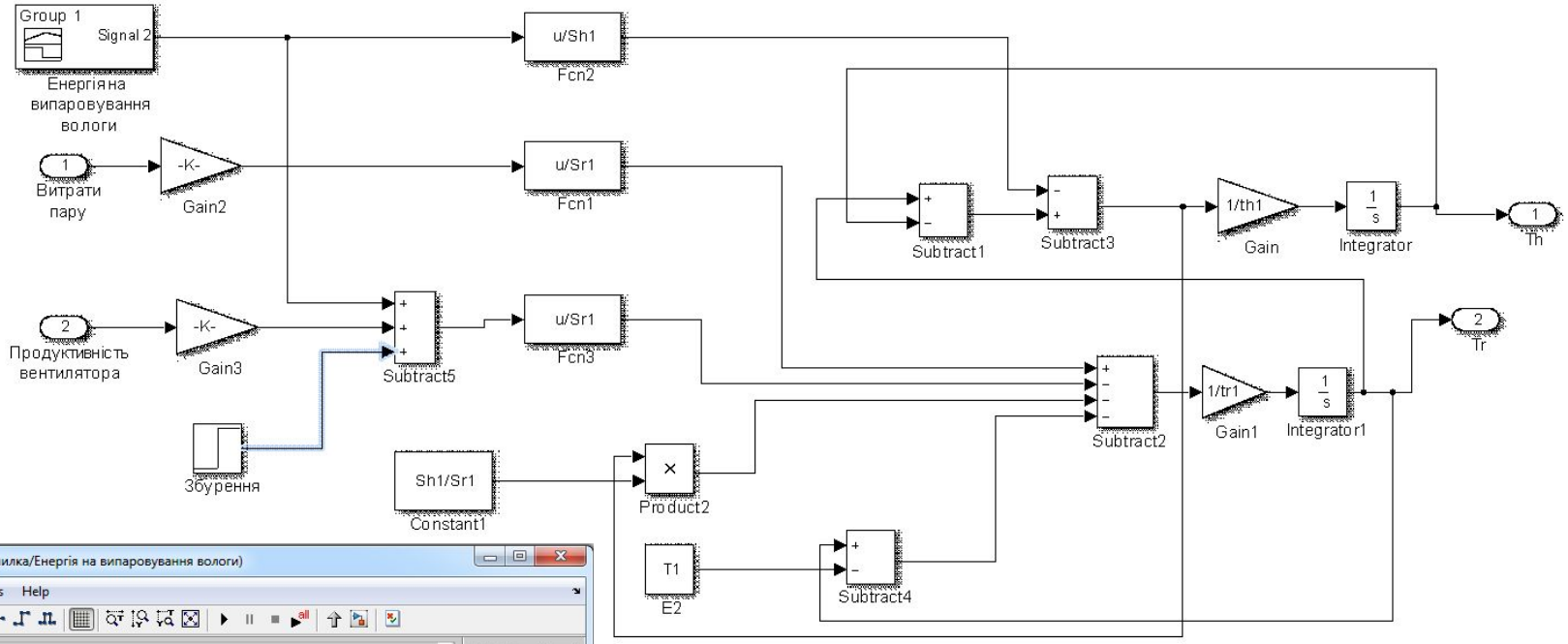
2 – калорифер; 3 – конвеєри; 6, 11 – колектори; 9 – зонти; 10 – шибери

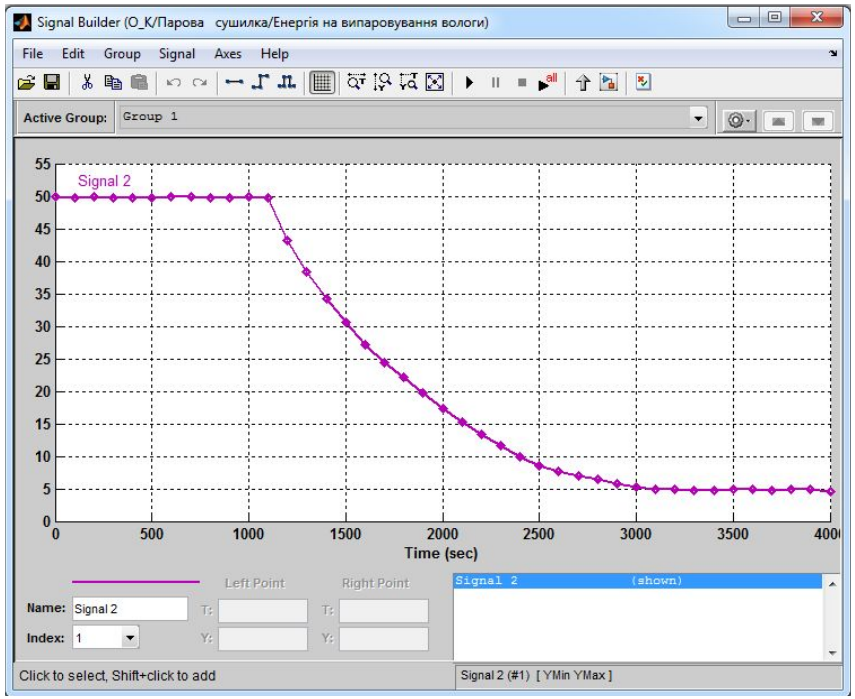
Імітаційна модель, що описує процеси теплообміном усередині парової сушарки

$$\begin{cases} \tau_{мак} \cdot \dfrac{dT_{мак}}{dt} = (T_{суш} - T_{мак}) - \dfrac{P_{вип}}{\sigma_{мак}}; \\ \tau_{суш} \cdot \dfrac{dT_{суш}}{dt} = \dfrac{P_{пар}}{\sigma_{суш}} - (T_{суш} - T_{мак}) \cdot \dfrac{\sigma_{мак}}{\sigma_{суш}} - \dfrac{(P_{вент} + P_{зб})}{\sigma_{суш}} - (T_{суш} - T_{в.с.}), \end{cases}$$

де $T_{суш}$ та $T_{мак}$ – поточна температура, відповідно, всередині сушарки та поверхневого шару макаронних виробів, °С; $\tau_{суш}$ та $\tau_{мак}$ – постійні часу, що визначають динаміку нагріву, відповідно, всередині сушарки та поверхневого шару макаронних виробів, с; $P_{вип}$ – потужність, що витрачається на випаровування вологості з макаронних виробів, кВт; $\sigma_{суш}$ – коефіцієнт теплопередачі теплової енергії з сушарки у зовнішнє середовище, Вт/°С; $\sigma_{мак}$ – коефіцієнт теплопередачі теплової енергії з повітря сушарки до верхнього шару макаронних виробів, Вт/°С; $P_{пар}$ – потужність, що витрачається на нагрівання повітря у сушарці нагрітим повітрям, кВт; $P_{вент}$ – потужність, що витрачається внаслідок видалення нагрітого повітря у сушарці вентиляторами, кВт; $P_{зб}$ – потужність, що витрачається внаслідок зміни кількості пару, що подається у сушарку в одиницю часу, або його температури, кВт.

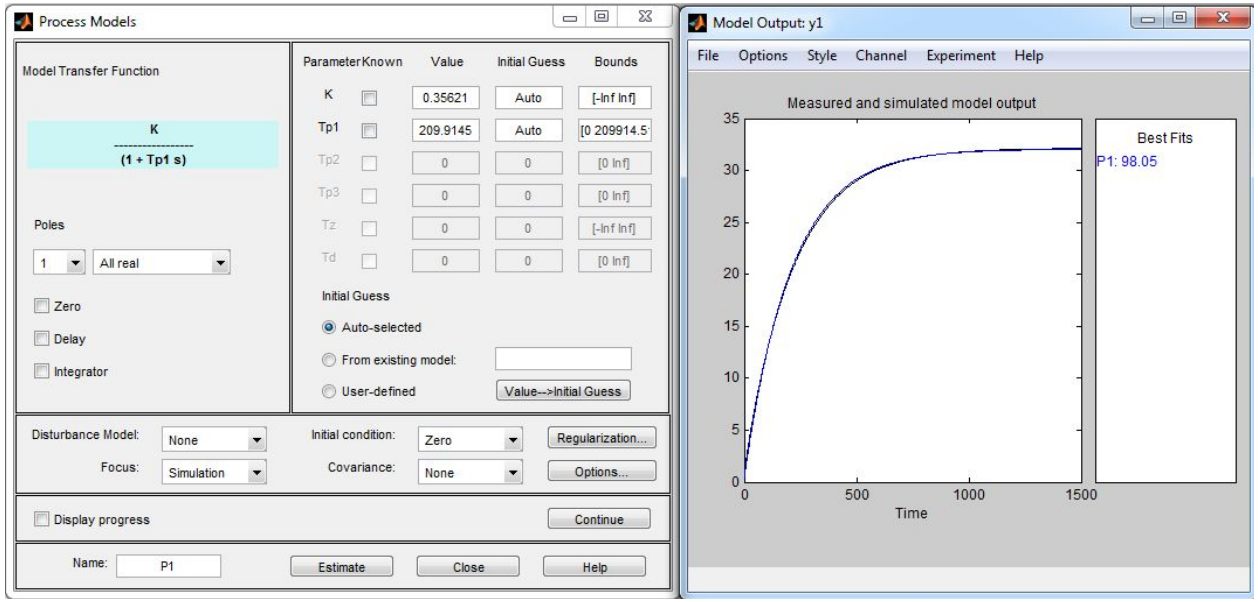
Реалізація імітаційної моделі, що описує процеси теплообміном усередині парової сушарки





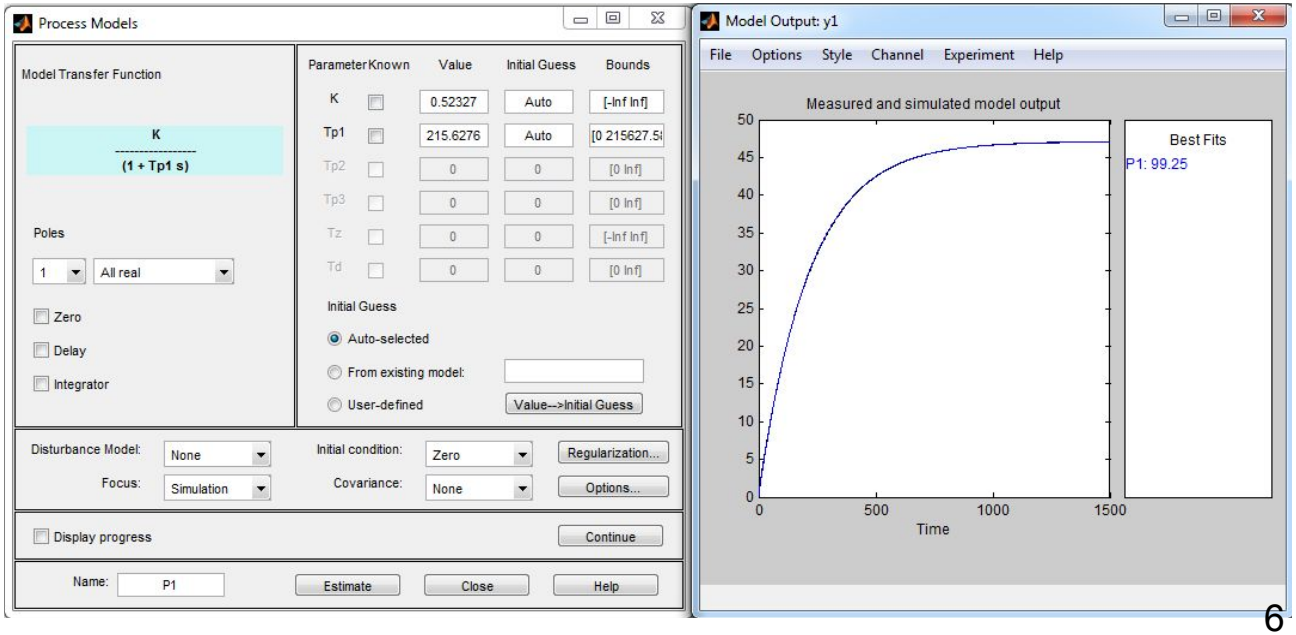
Вікно настройок блоку “Signal Building”, що імітує зміну у часі потужності, яка витрачається на випаровування вологості з макаронних виробів при їх сушінні

Перехід до спрощеної імітаційної моделі об’єкта керування (слайд 1)

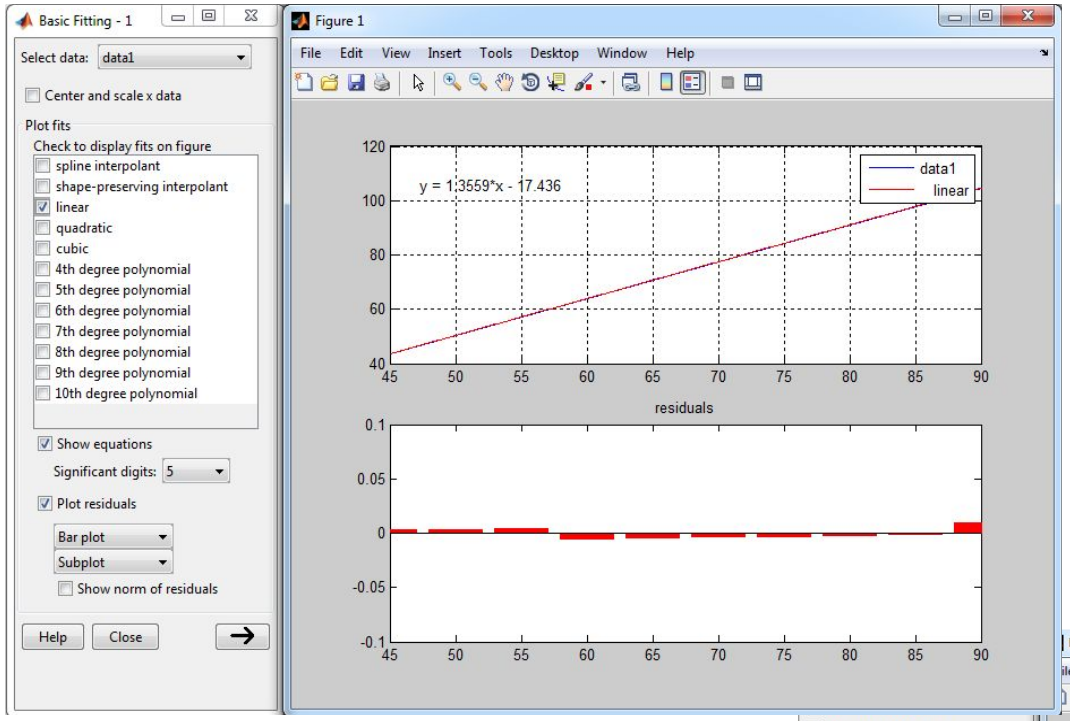


Результат параметричної ідентифікації спрощеної моделі об’єкта управління при максимальній потужності, що витрачається на випаровування вологості з макаронних виробів при їх сушінні

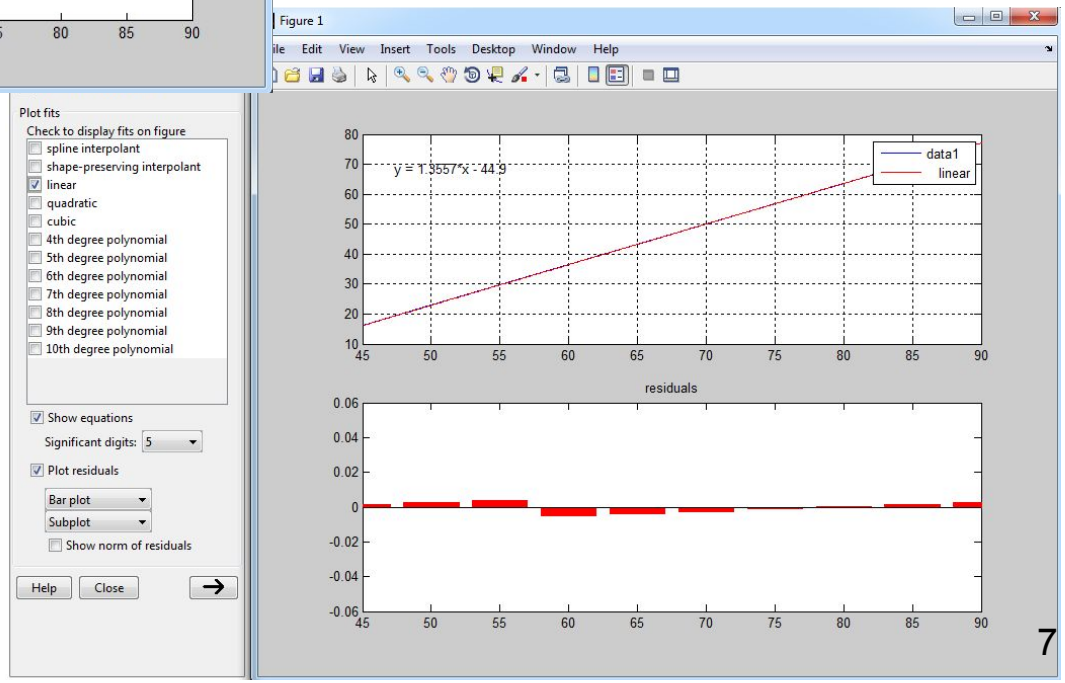
Результат параметричної ідентифікації спрощеної моделі об’єкта управління при потужності, що витрачається на випаровування вологості з макаронних виробів при їх сушінні, 20% від максимального значення



Перехід до спрощеної імітаційної моделі об’єкта керування (слайд 2)

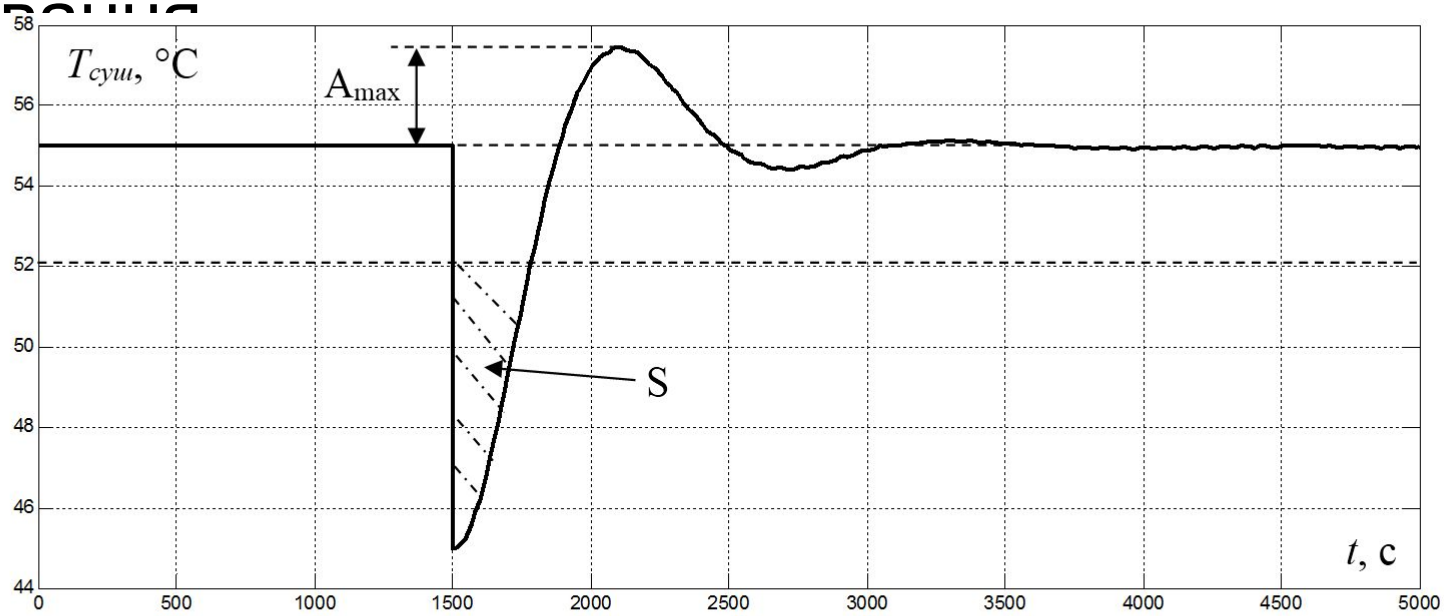


Апроксимація статичної характеристики за каналом “керуючий сигнал – керована величина” при потужності, що витрачається на випаровування вологості з макаронних виробів при їх сушінні, 10% від максимального значення



Апроксимація статичної характеристики за каналом “керуючий сигнал – керована величина” при зменшених витратах пару на вході сушарки на 10% відносно нормального значення

Критерії якості роботи системи автоматичного керування

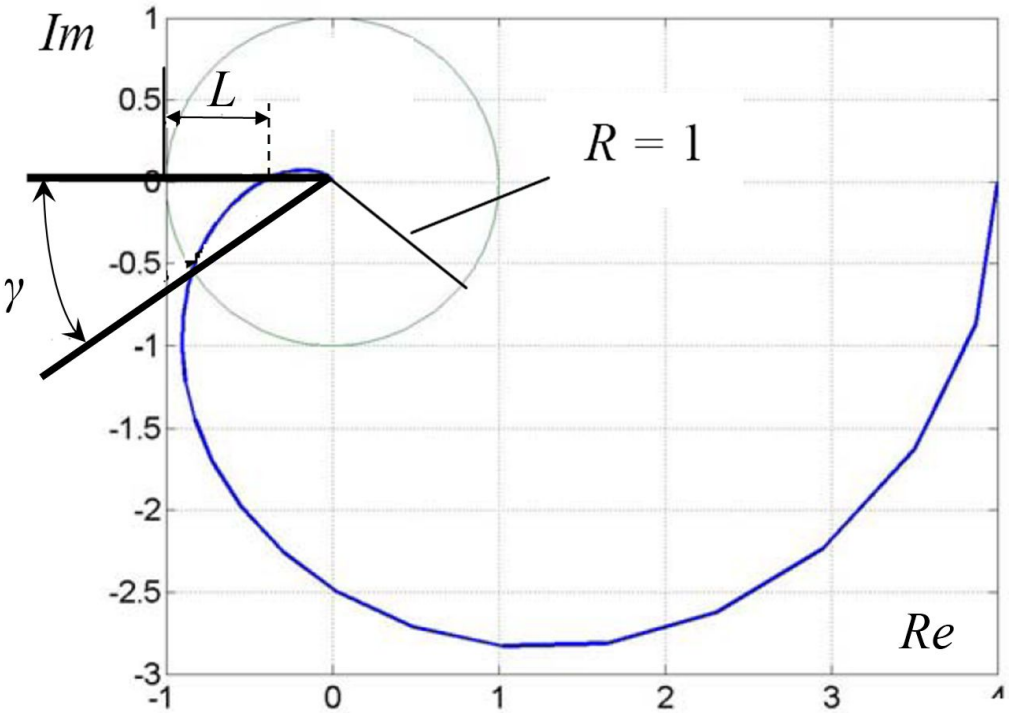


Інтегральна відносна похибка за умови виходу фактичної температури усередині сушарки з діапазону зміни значень 52 – 58 ºС розраховується за формулою:

$$\begin{cases} S_{кн} = S + T \dfrac{\left|T_{уст} - T_{ф}\right|}{T_{уст}}, \text{ АБО } T_{ф} < 52 \text{ або } T_{ф} > 58; \\ S_{кн} = S, \quad 52 \le T_{ф} \le 58, \end{cases}$$

де $T_{ф}$ – фактична температура усередині парової сушарки, ºС; $T_{уст}$ – уставка температури усередині парової сушарки (55 ºС).

Синтез системи автоматичного керування аналітичним методом



Загальна амплітудно-фазова характеристика системи автоматичного керування

Відомо, що умовою знаходження системи автоматичного керування на грані стійкості є виконання умови:

$$W_{об}(j\cdot\omega)\cdot W_{рег}(j\cdot\omega)=-1$$

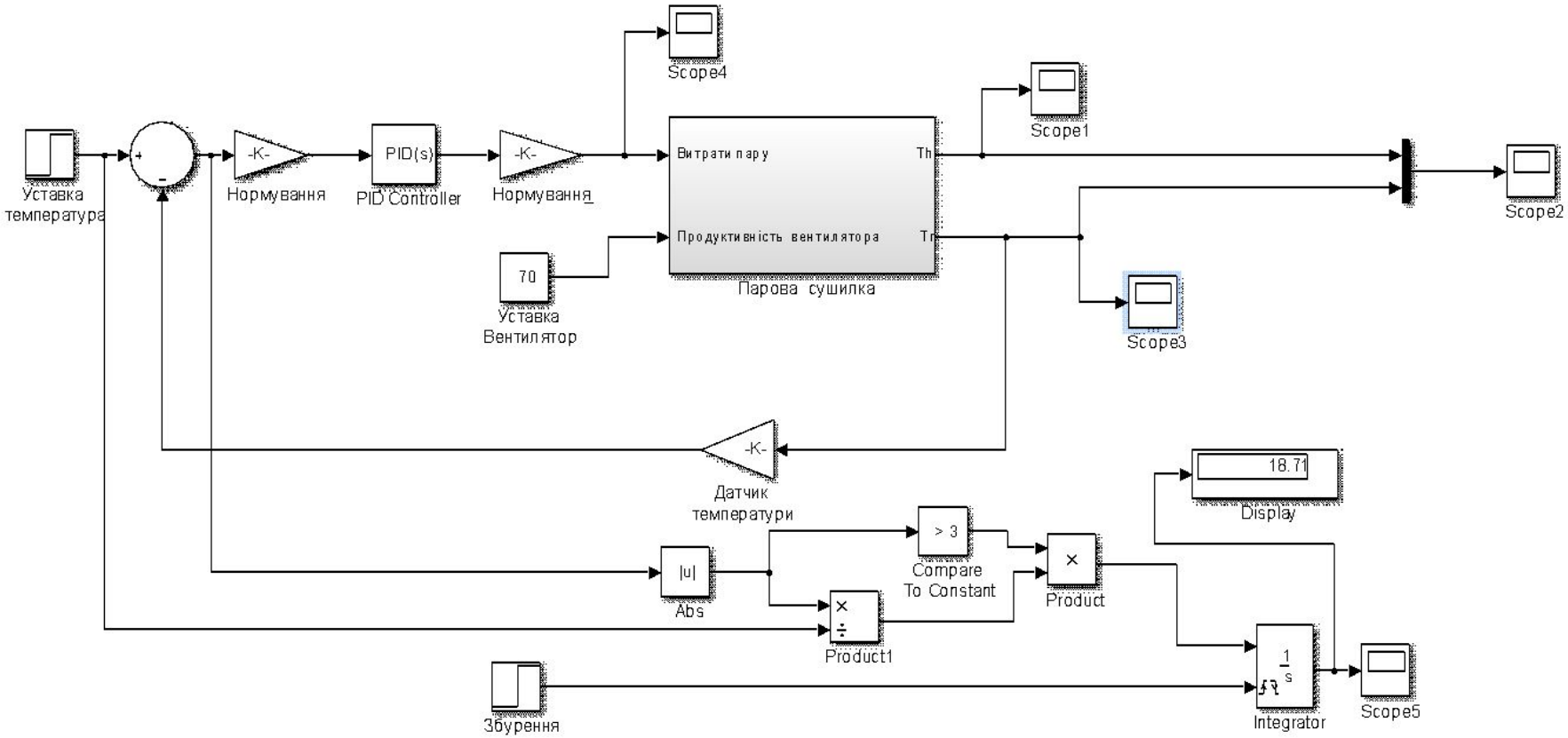
Для забезпечення заданого запасу стійкості системи автоматичного керування за амплітудою необхідно, щоб АФХ розімкненої системи перетинав від'ємну частину осі абсцис на відстані $L_{зад}$ від точки з координатами (-1; j0) справа від неї.

З урахуванням цього, умовою забезпечення заданого запасу стійкості системи автоматичного керування за амплітудою є:

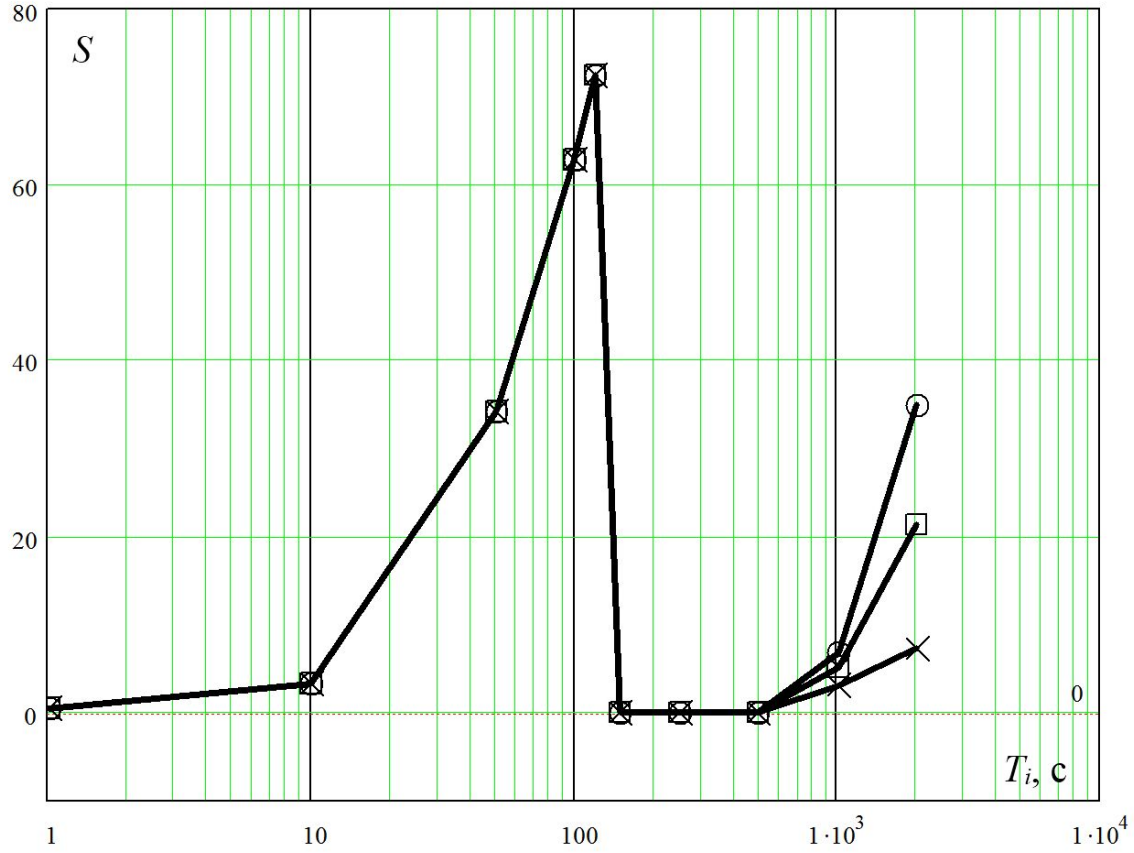
$$\begin{cases} arg\left[W_{роз}(j\cdot\omega_{\pi})\right]=-\pi; \\ \left|W_{роз}(j\cdot\omega_{\pi})\right|=1-L_{зад}, \end{cases}$$

де $W_{роз}(j\omega)$ – амплітудно-фазова характеристика розімкненої скоригованої системи автоматичного управління; $L_{зад}$ – заданий запас стійкості системи за амплітудою, Дб.

Імітаційна модель системи автоматичного управління температурою усередині парової сушарки



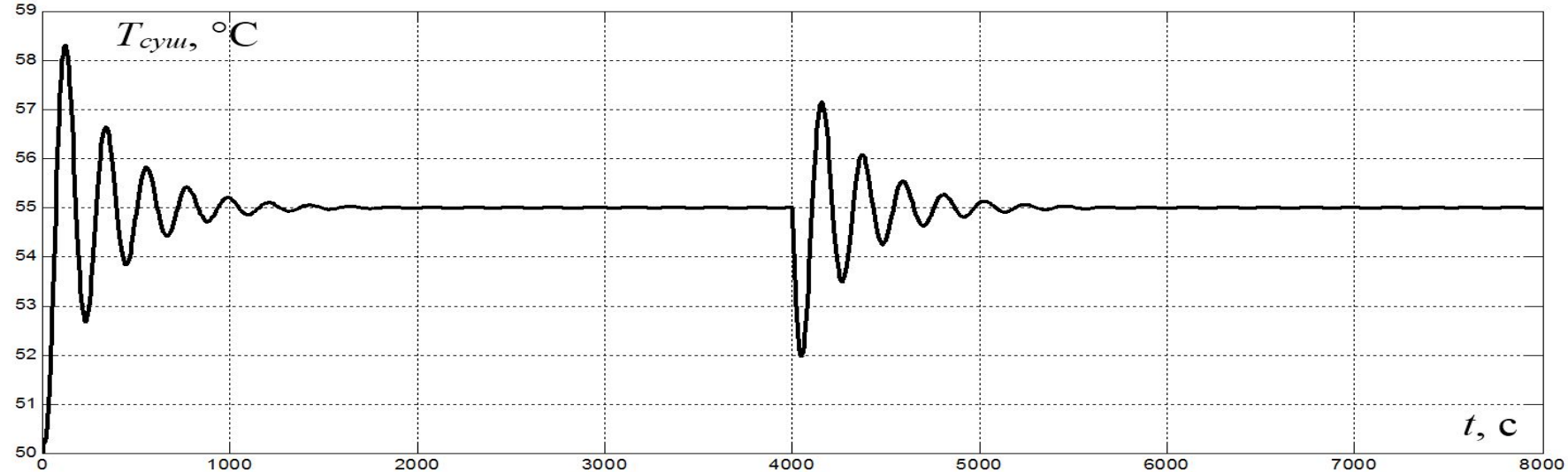
Дослідження залежності критеріїв якості від часу інтегрування ПІ-регулятора (слайд 1)



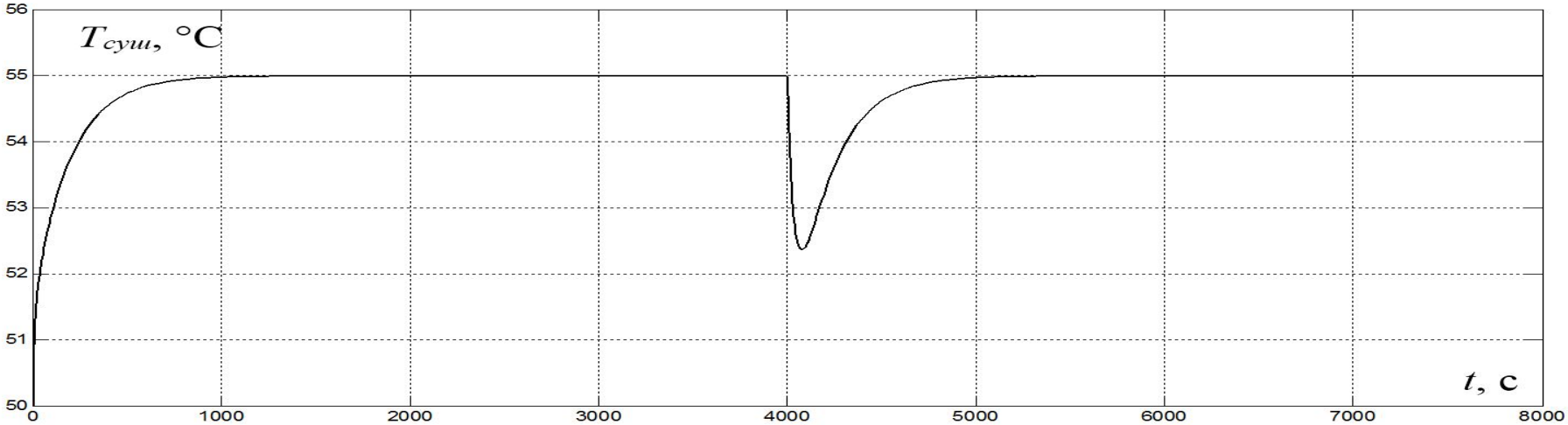
Залежності інтегральної відносної похибки при компенсації збурення на систему у вигляді різкої зміни характеристик теплового агенту від часу інтегрування ПІ-регулятора за умови забезпечення запасу стійкості системи 8 Дб при максимальній потужності, що витрачається на випарювання вологості з поверхні макаронних виробів (круглі маркери), 50% від максимальної потужності (квадратні маркери) та 5% від максимальної потужності (маркери у вигляді ікса)

Дослідження залежності критеріїв якості від часу інтегрування ПІ-регулятора (слайд 2)

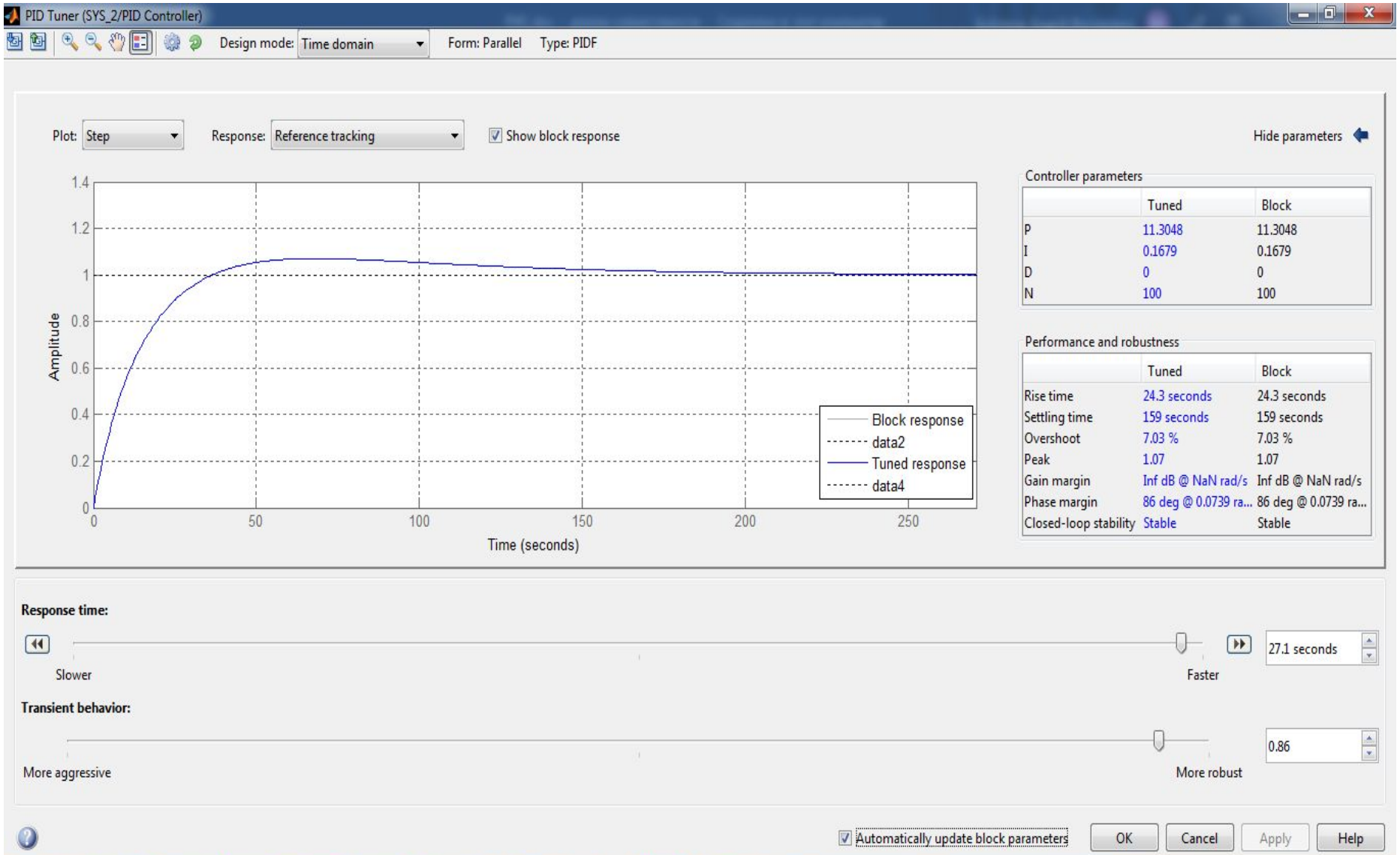
Перехідний процес на виході скоригованої системи автоматичного керування температурою усередині сушарки за умови забезпечення запасу стійкості системи 8 Дб при часі інтегрування 1 с



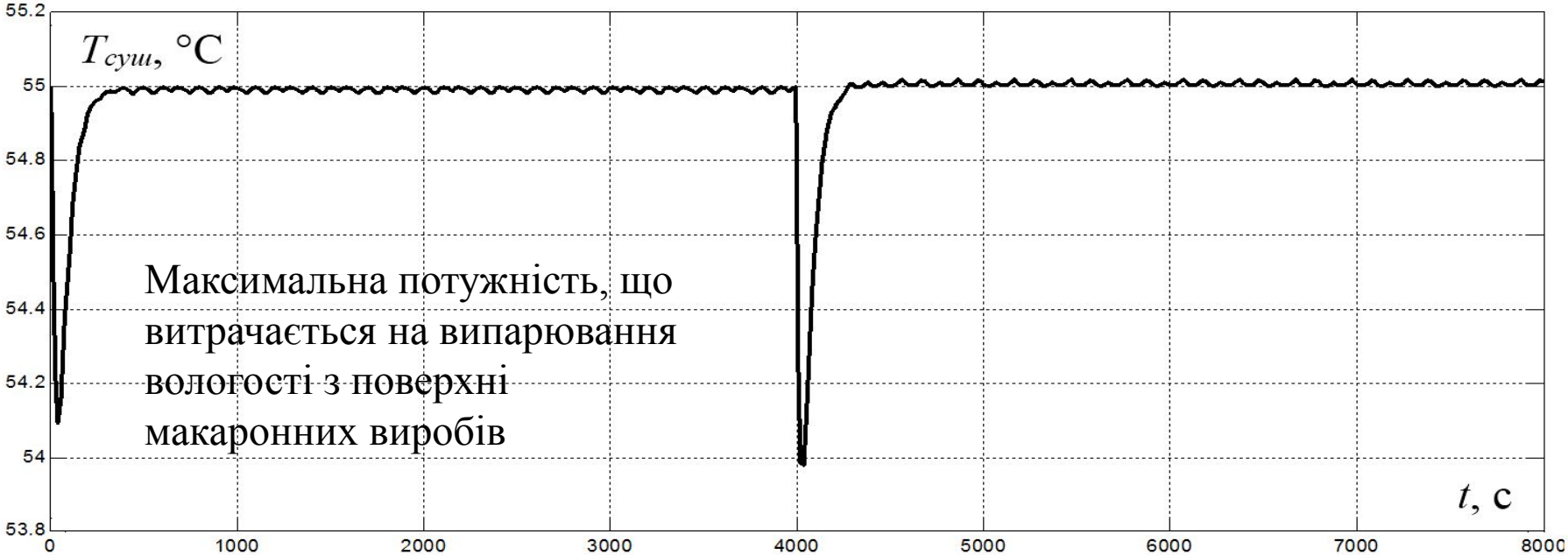
Перехідний процес на виході скоригованої системи автоматичного керування температурою усередині сушарки за умови забезпечення запасу стійкості системи 8 Дб при часі інтегрування 200 с

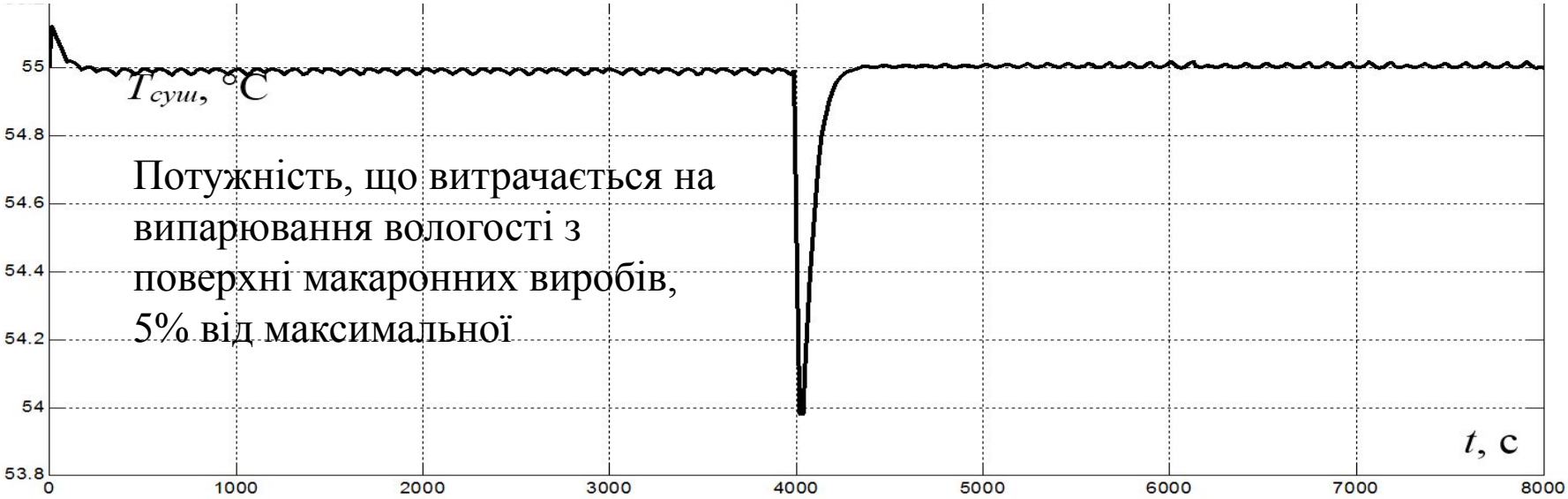


Синтез системи автоматичного керування комп’ютеризованим методом

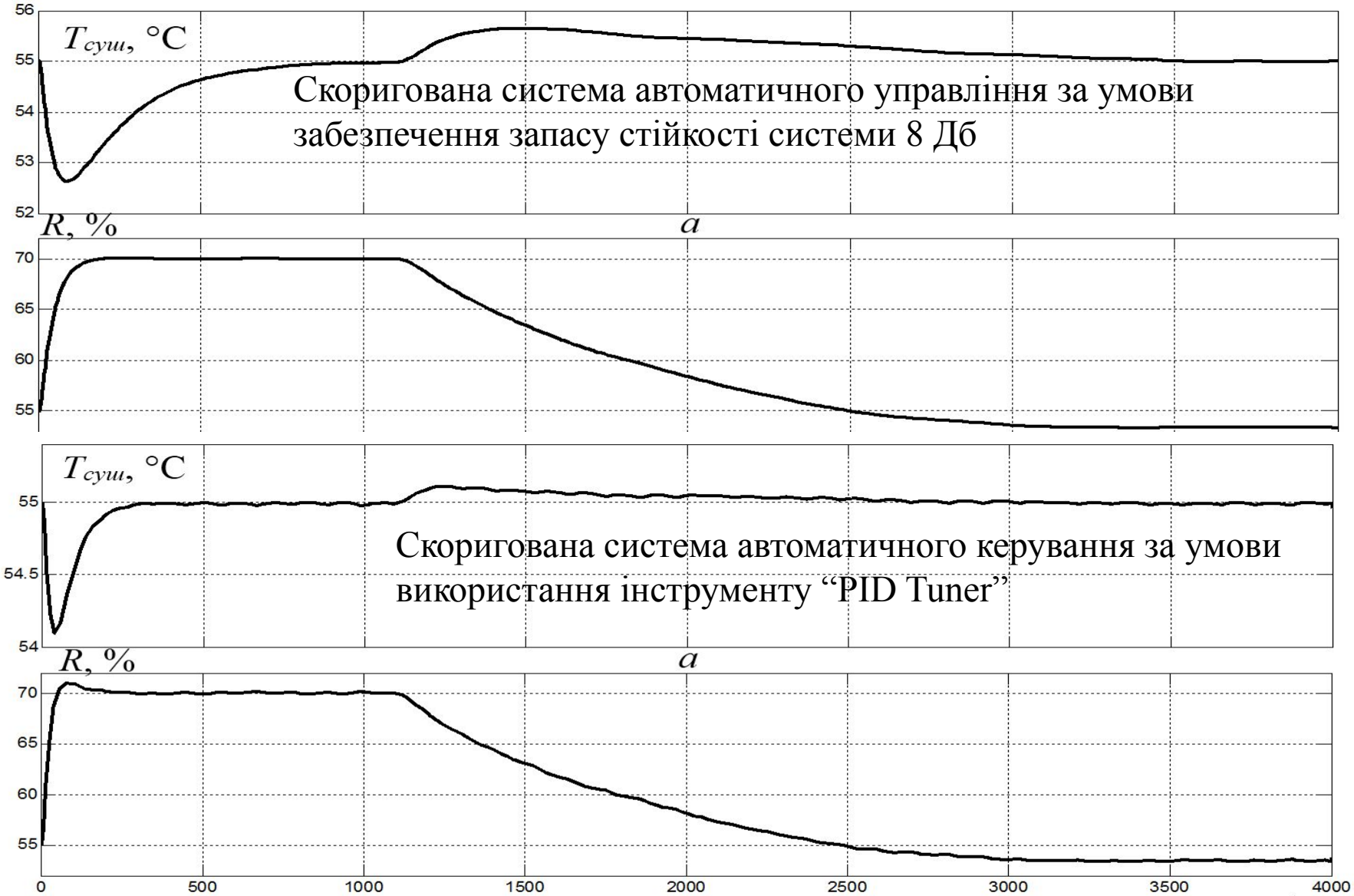


Дослідження якості роботи системи автоматичного керування, синтезованої комп'ютеризованим методом

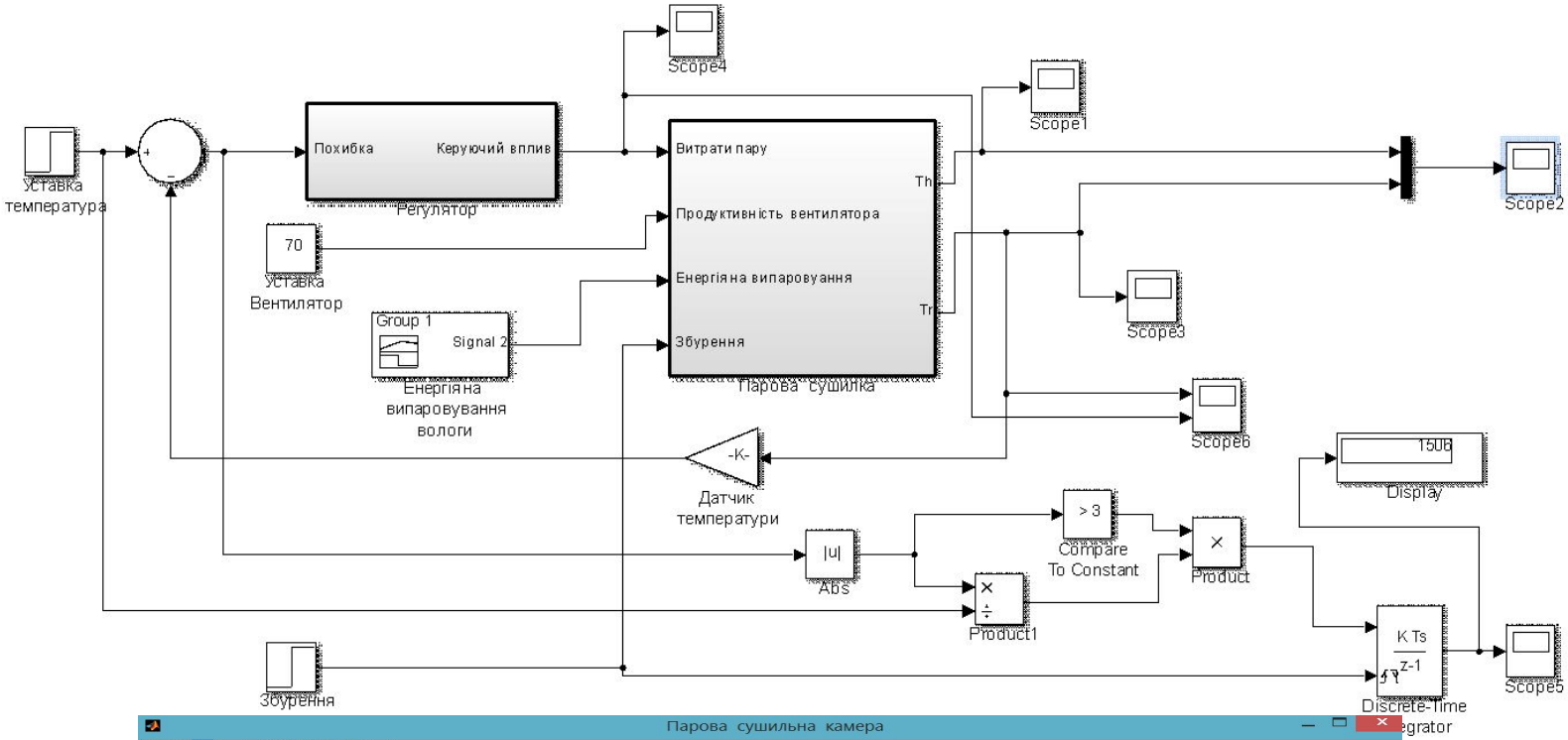


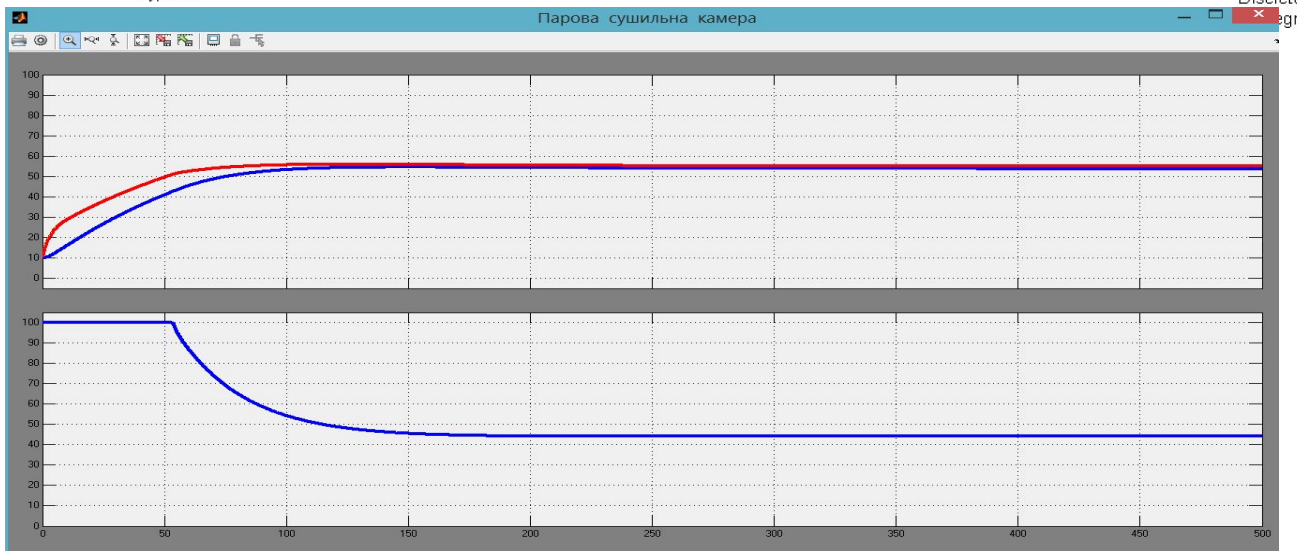


Дослідження якості роботи синтезованих систем автоматичного керування за умови імітування реального характеру зміни потужності, що витрачається на випаровування вологості з макаронних виробів

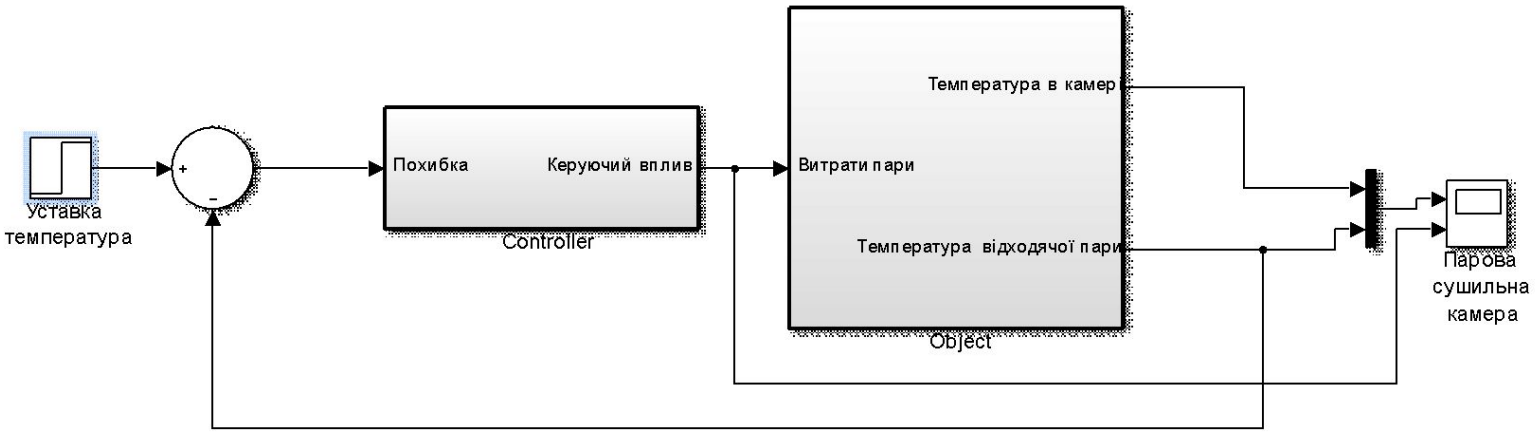


Цифрова модель об’єкта керування

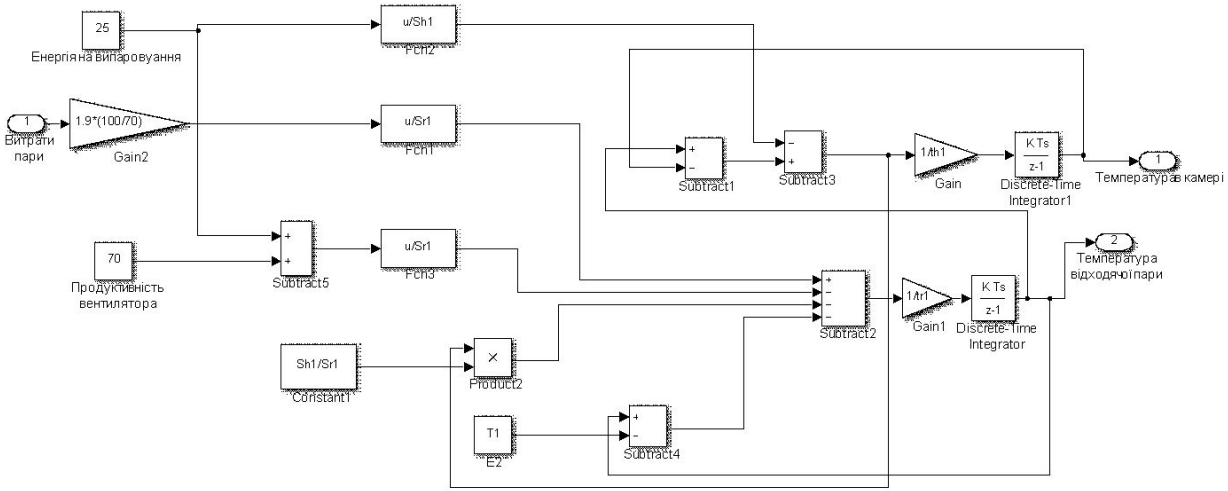




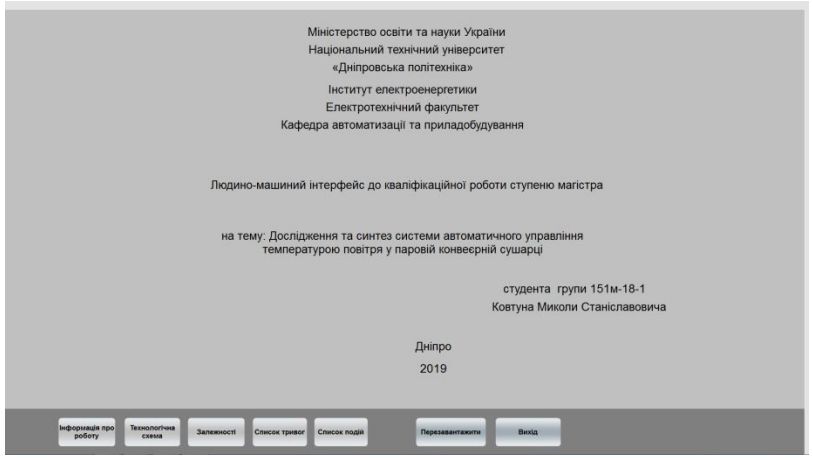
Розробка програмного забезпечення системи керування

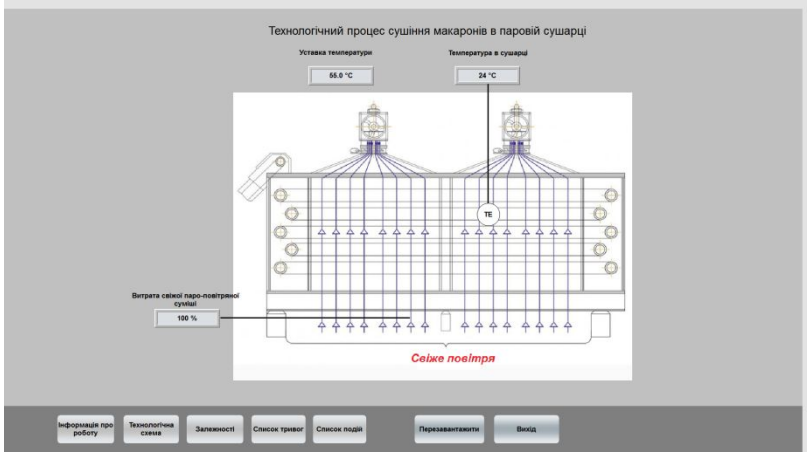


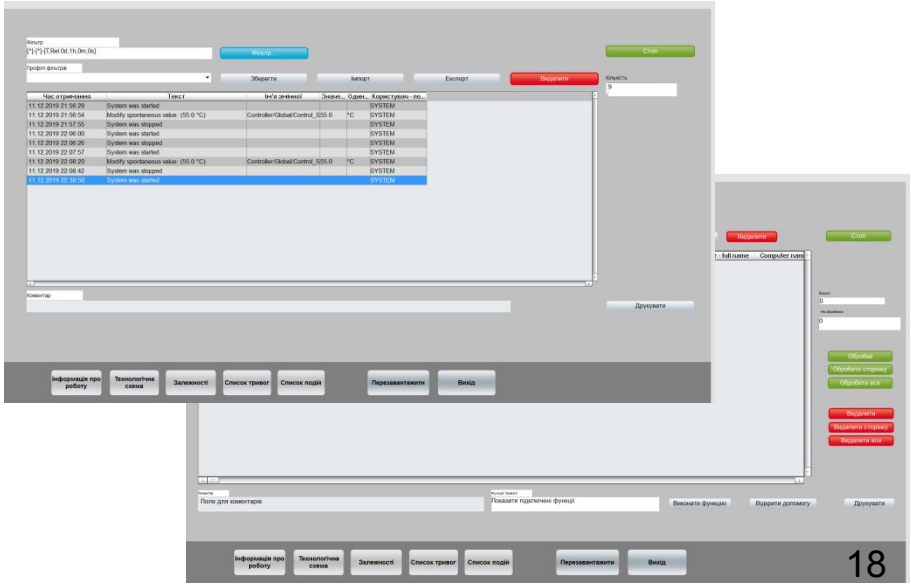
Підсистема об’єкта



Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейса







Висновки

1. При невеликих значеннях часу інтегрування регулятора при його розрахунку на основі критерія Найквіста з метою забезпечення запасу стійкості системи за амплітудою 8 Дб, компенсація системою автоматичного керування температурою усередині сушарки збурення у вигляді різкої зміни витрат пари є неефективною через наявність значних коливань у перехідному процесі, хоча температура не виходить з заданого діапазону від 52 до 58 °С. А при значному часі інтегрування через занадто низьку швидкодію система автоматичного керування температурою усередині сушарки не встигає ефективно компенсувати збурення, через що відбувається значне відхилення температури від заданого діапазону від 52 до 58 °С, хоча перерегулювання дорівнює нулю.

Таким чином, можна зробити висновок, що при розрахунку ПІ-регулятора температури усередині сушарки на основі критерія Найквіста з метою забезпечення запасу стійкості системи за амплітудою 8 Дб існує діапазон оптимальних значень часу інтегрування регулятора від 150 до 500 с, за умови яких система ефективно компенсує збурення у вигляді різкої зміни витрат пари як за інтегральною відносною похибкою компенсування, так і за перерегулюванням.

2. Як аналітичний метод синтезу системи автоматичного керування температурою усередині сушарки, так і комп’ютеризований дозволили отримати настройки регулятора, при яких відбувається ефективна компенсація як збурення у вигляді різкої зміни витрат пару при різних значеннях теплової потужності, що витрачається на випаровування вологи з поверхневого шару макаронних виробів, так і збурення у вигляді зміни у часі зазначеної теплової потужності згідно з кривою сушіння. Обчислювальні експерименти на основі імітаційної моделі системи автоматичного управління температурою усередині сушарки підтвердили, що за умови обох використаних методів синтезу системи для усіх ситуацій (сполучень збурюючих впливів на систему) відбувається ефективна компенсація збурень з

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ