

УДК 621.039.56

Нестерович С.О.

Одеський національний політехнічний університет

Тарахтій О.С.

Одеський національний політехнічний університет

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ ІЗ PID, PI, I-РЕГУЛЯТОРАМИ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ФАРФОРУ

У статті проведена розробка системи математичної моделі автоматизації області змішування компонентів електротехнічного фарфору з P, PI і PID регуляторами. Розглянуто можливі варіанти управління якістю змішування за допомогою управління рівнем у бункерах змішання. Також запропоновано оптимальний метод управління із застосуванням сучасної цифрової апаратури для аналізу якості змішування компонентів. Метою є підвищення якості змішування, а також оптимізація витрат на оцінку якості змішування сипучих матеріалів при виробництві електротехнічного фарфору.

Ключові слова: PID – регулятор, автоматична система управління, електротехнічний фарфор, критерій якості, оптичний метод, частка ключових компонентів, змішування сипучих матеріалів.

Постановка проблеми. Приготування однорідних за складом композицій із твердих матеріалів, які знаходяться у зернистому або порошкоподібному вигляді, їх змішання є широко використовуваним процесом. Попри те що їх перероблення виконується з давніх часів і майже у всіх галузях, змішання сипучих матеріалів і на тепер є, мабуть, самим невивченим процесом [1].

Постановка завдання. Мета статті – розробка системи математичної моделі автоматизації області змішування компонентів електротехнічного фарфору з P, PI і PID регуляторами.

Виклад основного матеріалу дослідження. Колись управління виконувалося у ручному режимі – оператором. Потім для управління процесами змішування почали використовувати таймери до заданого часу змішування.

Здебільшого під таймерами маються на увазі пристрої, що відміряють заданий інтервал часу з моменту запуску (вручну або електричним імпульсом) із секундоміром зворотного відліку. Разом і тим є таймери, момент спрацьовування яких задається установкою необхідного часу доби (так звані таймери реального часу), у цьому випадку таймер має у своєму складі годинник або пристрій зберігання часу, найпростішим таймером такого роду є будильник. Таймери, які мають достатню точність і призначені для установки тривалості будь-яких процесів у промисловому виробництві, на транспорті, у зв'язку, наукових дослідженнях атестуються як засоби вимірювань.

Згодом управління виконувалося методом стабілізації рівня завантаження, стали викорис-

товувати автоматичні дозатори, які забезпечують точне дозування. Після для зручності управління процесом регулювання виконувалося шляхом стабілізації оборотів у змішувачі шляхом зміни потужності двигуна.

Основним недоліком таких способів регулювання є відсутність обліку взаємовпливу рівня завантаження і частоти обертів у барабанному змішувачі при змішуванні сипучих матеріалів.

На підставі загальної схеми моделі управління була розроблена модель управління у Matlab Simulink, яка приведена на рисунку 1.

Схема представлена трьома потоками, які реалізують подачу компонентів 800 кг/хв SiO₂, 150 кг/хв Al₂O₃ і 50 кг/хв Na₂O відповідно до рецептури [2].

У зв'язку з тим, що при будь-яких коливаннях завантаження необхідно підтримувати подачу кожного компонента пропорційно необхідній рецептурі шихти, у ланцюг подачі завдання дозаторів включені поправочні коефіцієнти Pr1, Pr2, Pr3. Подача компонентів виконується блоками Constant з назвами – ZаданиеSiO₂, ZаданиеAl₂O₃, ZаданиеNa₂O. Дозатори реалізовано у вигляді ланки першого порядку з передатною функцією

$$\frac{K}{Ts + 1}$$

Де K – коефіцієнт передачі, T – постійна часу. Блоками Transport Delay з назвами – Dozator1, Dozator2, Dozator3. Також встановлено датчики маси, які реалізовано блоками Transport Delay з назвами Datchik massu1, Datchik massu2, Datchik

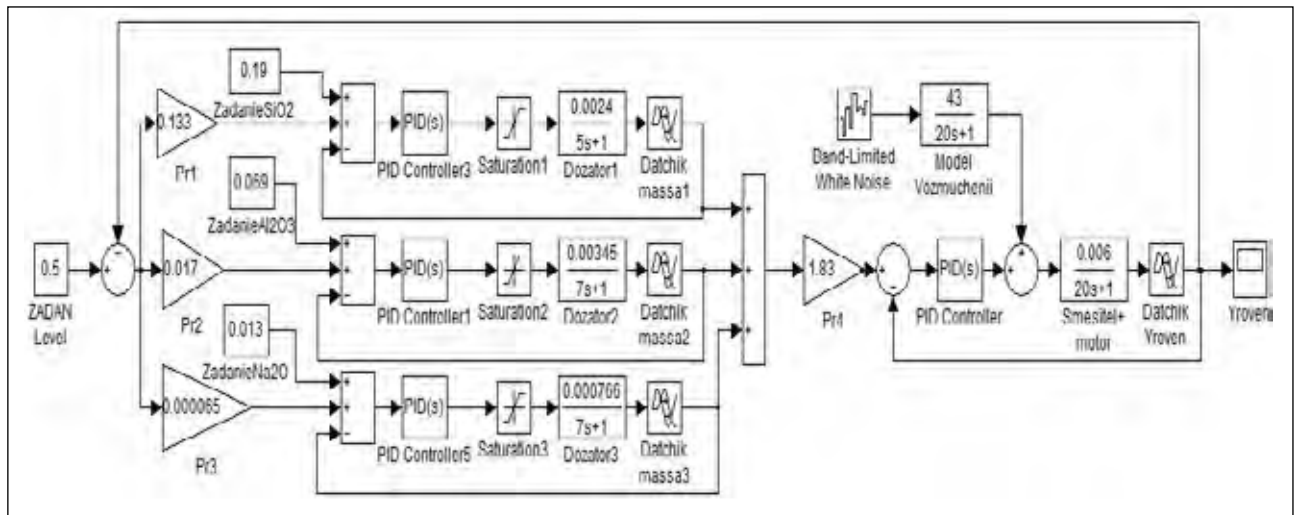


Рис. 1. Модель управління за каналом витрати компонентів – рівень у барабані

massu3. Згідно з технологічним регламентом допустимі коливання рівня можуть бути у межах 0,03 м.

Для забезпечення необхідного рівня у змішувачі всі підсистеми охоплені негативним зворотним зв'язком, що дозволяє забезпечувати необхідний рівень шихти у змішувачі.

На підставі запропонованої структури розроблена модель запропонованої системи у програмному пакеті MATLAB-Simulink [3] і проведено її моделювання з використанням ПД регуляторів (рис. 2). З урахуванням технологічного завантаження у 1000 кг та на підставі питомої щільності кожного компонента визначимо необхідне завдання для витрати кожного компонента: для SiO₂ становить 0,19 кг/с, для Al₂O₃ – 0,069 кг/с, для Na₂O – 0,013. Коефіцієнти Pr, Pr2, Pr3 обрані з урахуванням одночасної зміни витрати кожного компонента. Pr4 обраний для забезпечення перетворення сумарної витрати у необхідний рівень компонентів у дозаторі.

Для оцінки впливу збурюючих впливів у модель включена модель сумарних збурень – Model vozmuchenii, що враховує коливання середніх розмірів частинок, і реалізована у вигляді генератора білого шуму – Band – Limited White Nois і ланки запізнювання другого порядку. Діапазон зміни середніх розмірів частинок вибраний для кожного каналу у межах ±10%. Результат роботи системи наведено на рисунку 2.

З рисунка бачимо, що залежно від зміни дозування компонентів, рівень у барабанному змішувачі коливається у межах 0,3 м, що відповідає вимогам.

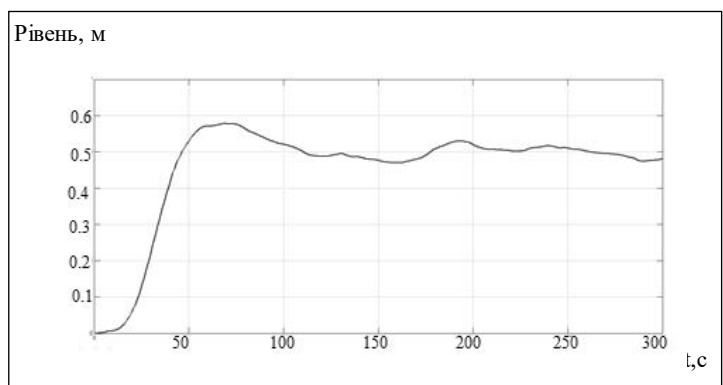


Рис. 2. Перехідний процес зміни рівня у змішувачі

Якість змішування у барабанному змішувачі залежить від певних показників, а саме: рівня у барабані, числа його обертів і часу змішування. Головною задачею при розробці моделі є зменшення часу змішування та зменшення затрат на виробництво продукту, тому необхідно управляти вище перерахованими показниками ефективно. Саме тому була розроблена модель, яка включає у себе рішення поставлених задач.

Модель представлена двома каналами, рівень у барабані–якість змішування, та відсоток чорноти–якість змішування.

Для контролю якості змішування було розглянуто два методи – рентгенівський і оптичний.

Всі методи вимірювання щільності сипучих матеріалів засновані на прямому чи непрямому вимірі маси і об'єму речовини у пробі, тому вимірювання щільності сипучих матеріалів може здійснюватися двома шляхами:

1) непрямыми методами, наприклад, по загасання потоку радіоактивних, рентгенівських або ультразвукових променів, що проходять через контрольовану речовину;

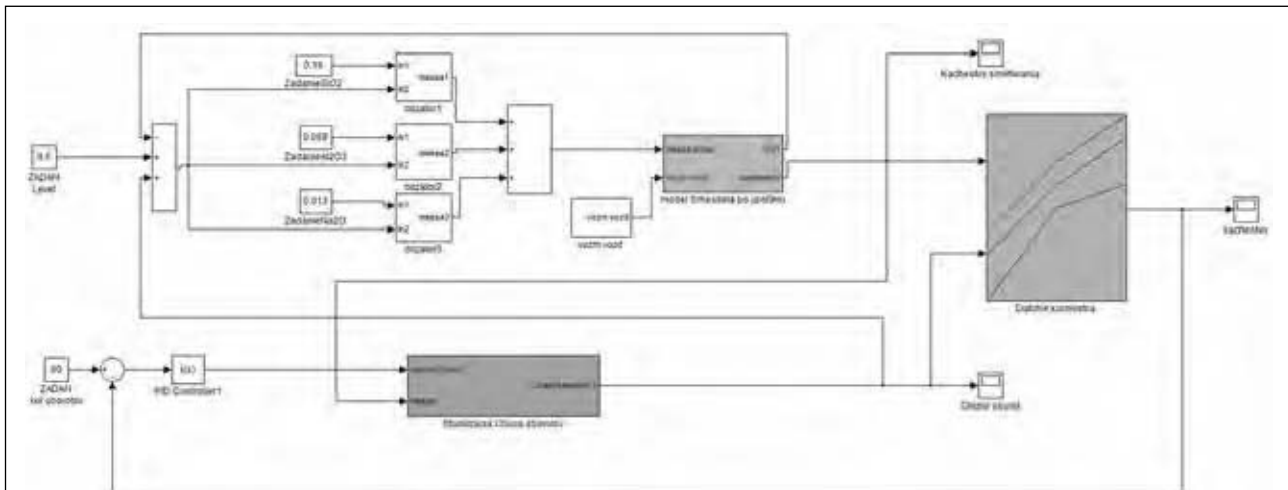


Рис. 3. Модель управління якістю змішування продукції

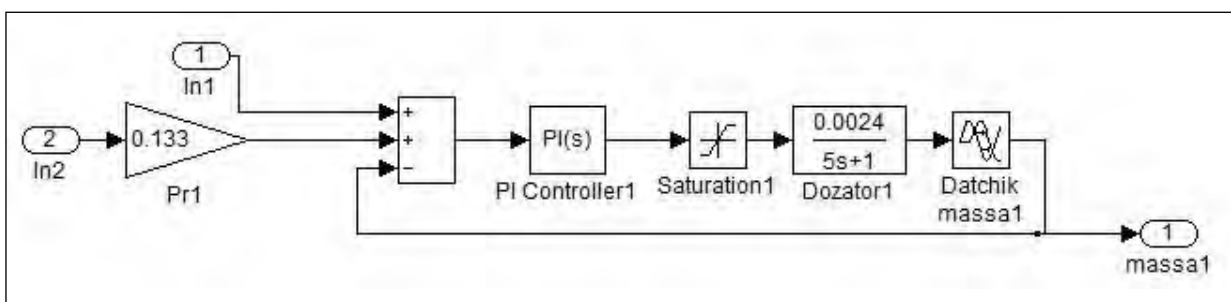


Рис. 4. Структура підсистеми Massa1

2) абсолютним методом, коли маса і обсяг вимірюються прямими методами окремо і по їх відношенню визначають щільність [4].

Рентгенівський контроль заснований на поглинанні рентгенівських променів, яке залежить від щільності середовища і атомного номера елементів, що утворюють матеріал середовища. Наявність таких дефектів, як тріщини, раковини або включення чужорідного матеріалу, призводить до того, що промені, які проходять через матеріал, послаблюються у різний ступень. Реєструючи розподіл інтенсивності променів, можна визначити наявність і розташування різних неоднорідностей матеріалу [5].

Спосіб оптичного контролю якості полягає у попередньому отриманні «еталонної» суміші і її цифрового зображення. Визначають якість фактичної суміші поділом її цифрового зображення на однакове число частин (осередків) і їх порівнянням із гістограмою яскравості із зображенням «еталонної» суміші [6].

Перший шлях є більш коротким і зручним для автоматизації вимірювання, однак, частки, що вносяться для загасання внаслідок впливу товщини, форми, щільності і фізичних характеристик матеріалів (Хімічний склад, структура,

зв'язок окремих компонентів), істотно впливають на одержуваний результат, тому було обрано оптичний метод контролю якості.

Розроблена модель представлена двома каналами, рівень у барабані–якість змішування, та відсоток чорноти–якість змішування. Її особливістю є оптичний датчик, який відповідає за контроль якості готової продукції.

Розроблена модель з PID, PI,I-регуляторами зображена на рисунку 4.

Канал рівень у барабані–якість змішування представлений потоками по дозуванню трьох компонентів. Завдання на витрату компонентів згідно з рецептурою реалізується блоками Constant з назвами – ZadanieSiO2, ZadanieAl2O3, ZadanieNa2O. За подачу компонента SiO2 до змішувача відповідає підсистема з назвою Massa1. Структуру підсистеми приведено на рисунку 4.

Підсистема Massa1 відповідає за реалізацію процесу дозування компоненту SiO2 і включає у себе блоки вхідних параметрів In1 – завдання по витраті та In2 – завдання по рівню. Pr1 – поправний коефіцієнт, який реалізовано підсилювальною ланкою; PI-контролер $P=23,88$ $I=16,45$; Dozator1, який реалізовано ланкою першого порядку, та Datchik massa1, який реалізовано блоком Transport

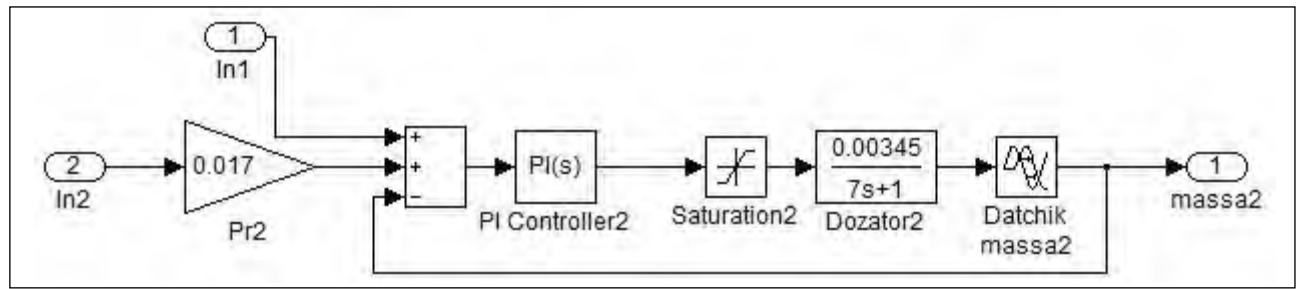


Рис. 5. Структура підсистеми Massa2

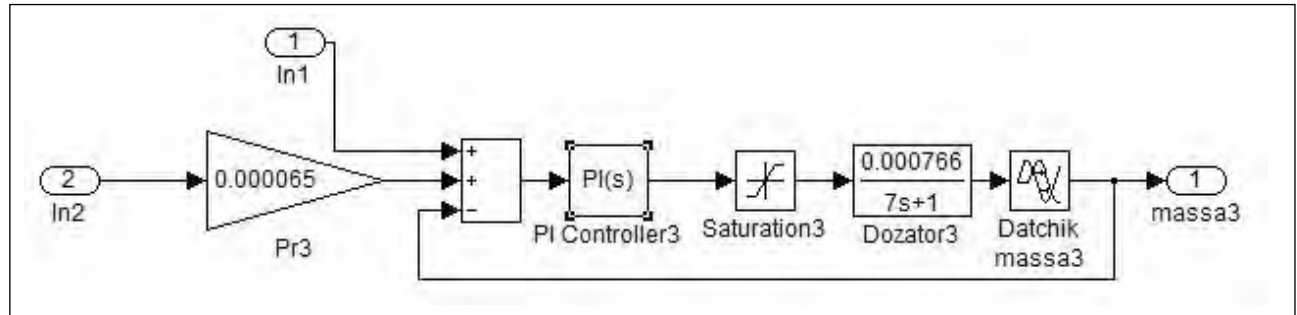


Рис. 6. Структура підсистеми Massa3

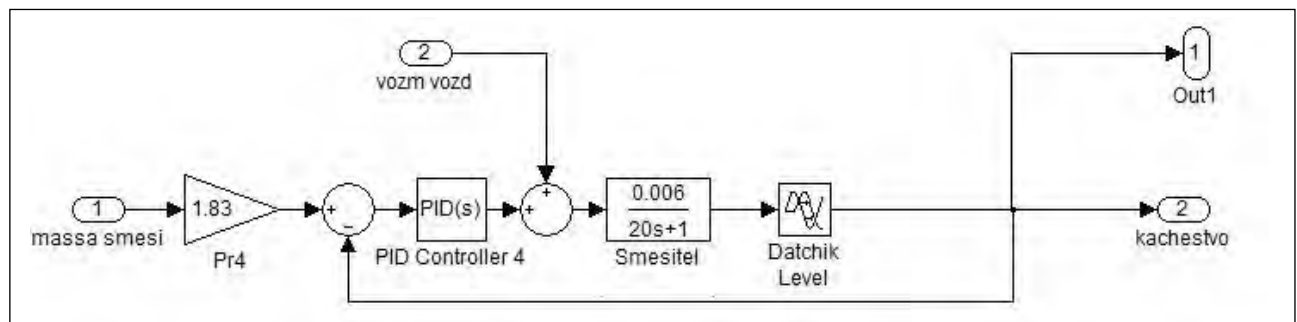


Рис. 7. Структура підсистеми Model smesitela po urovny

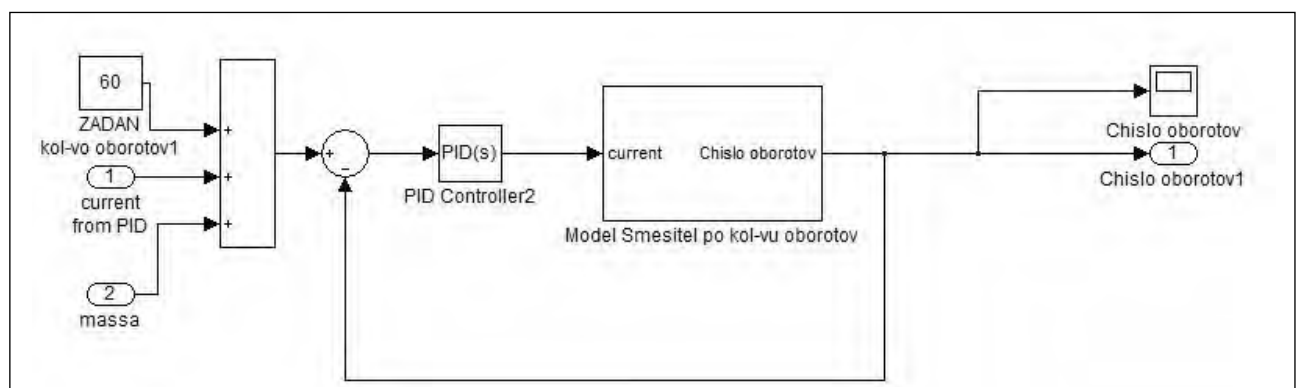


Рис. 8. Структура підсистеми Stabilizacia Cisla oborotiv

Delay. На виході підсистеми отримуємо масу компоненту SiO₂.

За подачу компонента Al₂O₃ до змішувача відповідає підсистема з назвою Massa2. Структуру підсистеми приведено на рисунку 5.

Підсистема Massa2 відповідає за реалізацію процесу дозування компоненту Al₂O₃ і включає у себе блоки вхідних параметрів In1 – завдання по витраті та In2 – завдання по рівню. Pr2 – поправний коефіцієнт, який реалізовано підсилювальною ланкою;

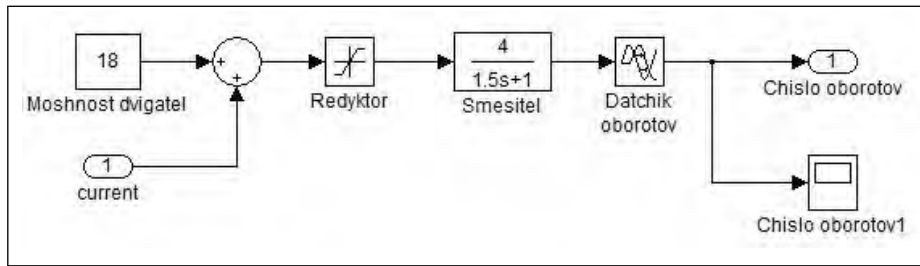


Рис. 9. Структура підсистеми Model Smesitel по kol-vu oborotov

PID-контролер $P=46,42$ $I=11,99$; Dozator2, який реалізовано ланкою першого порядку, та Datchik massa1, який реалізовано блоком Transport Delay. На виході підсистеми отримуємо масу компонента SiO2.

За подачу компонента Na2O до змішувача відповідає підсистема з назвою Massa2. Структуру підсистеми приведено на рисунку 6.

Підсистема Massa2 відповідає за реалізацію процесу дозування компонента Na2O і включає у себе блоки вхідних параметрів In1 – завдання по витраті, та In2 – завдання по рівню. Pr3 – поправний коефіцієнт, який реалізовано підсилювальною ланкою; PID-контролер $P=209,09$ $I=54,04$; Dozator3, який реалізовано ланкою першого порядку, та Datchik massa1, який реалізовано блоком Transport Delay. На виході підсистеми отримуємо масу компонента SiO2.

Далі на вхід блоку Model smesitela по ugovny подається сумарне значення трьох компонентів. Даний блок включає у себе структуру, яка приведена на рисунку 7.

Підсистема Model smesitela по ugovny включає у себе блоки вхідних параметрів massa smesi – сумарна маса компонентів та vozm vozd – збурення. Pr4 – поправний коефіцієнт, який реалізовано підсилювальною ланкою; PID-контролер $P=288,81$ $I=17,04$ $D=-1481,42$; Smesitel, який реалізовано ланкою першого порядку та Datchik Level, який реалізовано блоком Transport Delay. З виходу підсистеми подаємо від’ємний зворотній зв’язок на вхід підсистем дозування. На виході з підсистеми отримуємо якість продукту.

Канал відсоток чорноти–якість змішування представлений блоком I-regulator $I=0,0004199$ та підсистемою Stabilizacia Cisla oborotov.

Підсистема Stabilizacia Cisla oborotov відповідає за реалізацію процесу по стабілізації кількості обертів барабанного змішувача. Підсистема включає у себе структуру, яка приведена на рисунку 8.

Підсистема включає у себе вхідні сигнали ZADAN kol-vo oborotov – завдання по кількості обертів, current from I – струм з регулятора I, massa – суммарна маса компонентів; PID-контролер $P=0,288$

$I=2,296$ $D=-31,908$; та підсистемою Model Smesitel по kol-vu oborotov (рис. 9). На виході з підсистеми отримуємо кількість обертів.

Підсистема включає у себе вхідні сигнали Moshnost dvigatel – завдання по потужності двигуна, current – струм з регулятора I. Змішувач реалізовано ланкою першого порядку з назвою Smesitel. На виході з підсистеми отримуємо кількість обертів.

Оскільки для оцінки якості продукту було обрано оптичний датчик, то його реалізовано блоком Lookup2D Table, який приведено на рисунку 10 та 12.

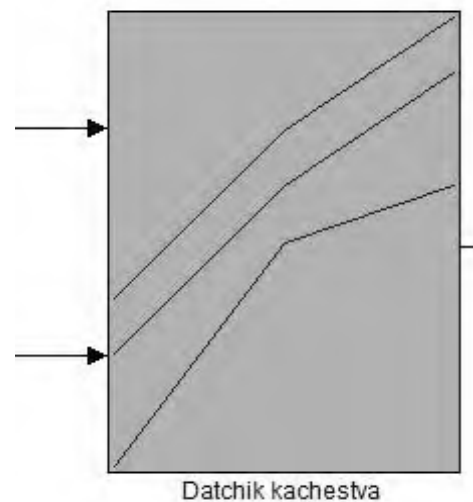


Рис. 10. Блок Lookup2D Table

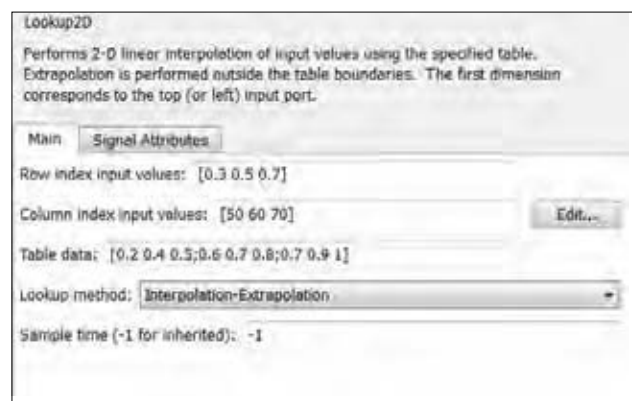


Рис. 11. Блок Lookup2D Table

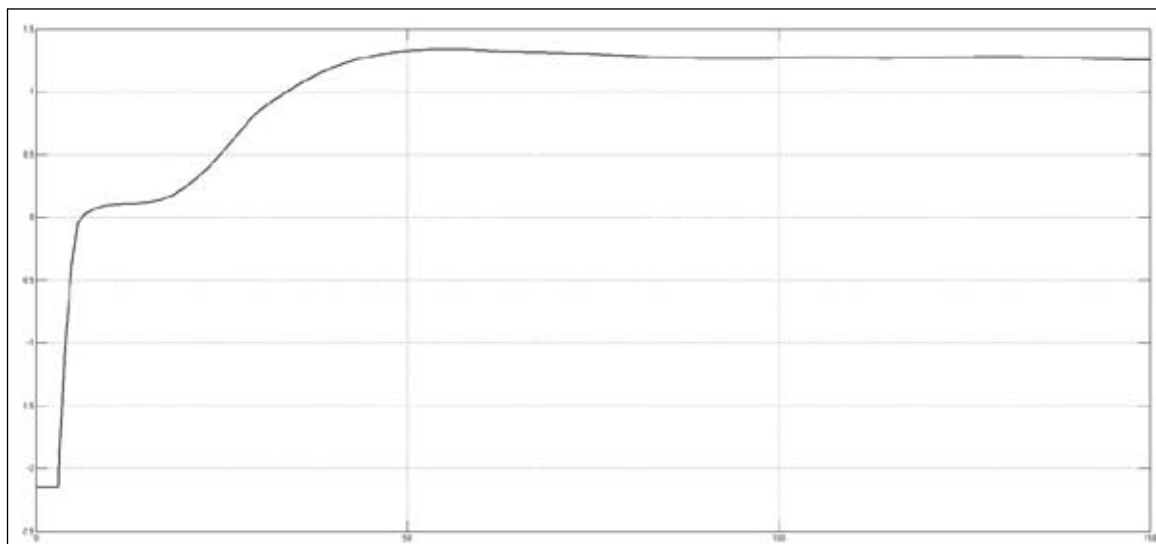


Рис. 12. Результат моделювання моделі

Таблиця 1

Критерії якості

Рівень у змішувачі	Число обертів		
	50	60	70
0,3	0,2	0,4	0,5
0,5	0,6	0,7	0,8
0,7	0,7	0,9	1

Для його реалізації було сформовано критерії якості у вигляді таблиці (табл. 1) співвідношення кількості обертів та рівня у барабані, де оптимальним показником якості виступає співвідношення 60 об/хв та рівень у барабані – 0,5 м. При таких показниках оптимальний критерій якості =0,7.

Результат моделювання приведено на рисунку 12.

На виході з моделі отримуємо якість готового продукту.

Список літератури:

1. Макаров Ю.І. Апарати для змішування сипучих матеріалів. М.: Машинобудування, 1973. 215 с.
2. Електрофарфор. URL: http://www.elcer.com.ua/quality_and_materials/ceramic_materials
3. Види і класифікація дозаторів. URL: <http://agrosbornik.ru/raznoe/142-04-2014/2008-vidy-i-klassifikaciyadozatorov.html>.
4. Капранова, А.Б. Деаерація сипучих середовищ в сумішених зі змішанням процесах: дис. ... д-ра фіз.-мат. наук: 05.17.08. Іваново, 2009. 336с.
5. Бородулін Д.М. Підвищення ефективності процесу змішування при отриманні комбінованих продуктів в змішувальних агрегатах відцентрового типу: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Кемерово, 2013. 38 с.
6. Лебедев А.С., Зайцев А.І., Капранова А.Б., Кузьмін І.О. Математична модель механіки руху сипучих матеріалів в розріджених потоках апаратів з еластичними робочими елементами. *Изв. ВНЗ. Хімія і хімічна технологія*. Іваново, 2012. Т. 52, вип. 5. С. 111-113.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА СМЕШИВАНИЯ КОМПОНЕТОВ С PID, PI, I-РЕГУЛЯТОРАМИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ФАРФОРА

В статтє проведена розробка системи математическої моделі автоматизації області змішування компонентів електротехніческого фарфора с P, PI и PID регуляторами. Рассмотрены возможные варианты управления качеством смешивания посредством управления уровнем в бункерах смешения. Также предложен оптимальный метод управления с применением современной цифровой аппаратуры для анализа качества смешения компонентов. Целью является повышение качества смешения, а также оптимизация затрат на оценку качества смешивания сыпучих материалов при производстве электротехнического фарфора.

Ключевые слова: PID – регулятор, система автоматического управления, электротехнический фарфор, критерий качества, оптический метод, доля ключевых компонентов, смешивание сыпучих материалов.

MODEL DEVELOPMENT FOR QUALITY CONTROL MIXING COMPONENTS WITH PID, PI, AND REGULATORS AT MANUFACTURING ELECTROTECHNICAL PORCELAIN

The article deals with the development of a system of mathematical model of automation of the field of mixing components of electrical porcelain with P, PI and PID regulators. Possible options for mixing quality management with level management in mixing bins are considered. An optimal control method with the use of modern digital equipment for analysis of the quality of mixing of components is also proposed. The goal is to improve the quality of mixing, as well as optimize the cost of assessing the quality of mixing bulk materials in the manufacture of electrical porcelain.

Key words: *PID – regulator, automatic control system, electrical porcelain, quality criterion, optical method, share of key components, mixing of bulk materials.*