

Колесников А. С., студент гр. 151М-20

Наукові керівники: Заславський О.М., к.т.н., доцент кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірjувальних систем, Славінський Д.В., асистент кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірjувальних систем

(Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ

**Актуальність.** Скло є матеріалом, який широко застосовується практично в усіх сферах людської діяльності (у промисловості та сільському господарстві, у будівництві та на транспорті, у побуті та медицині) завдяки своїм унікальним якостям: прозорості, твердості, хімічній стійкості до активних хімічних реагентів, відносній дешевизні виробництва. Без нього неможливо виготовити оптичні прилади, телевізори, космічні кораблі та інше. Попри успіхи у створенні нових матеріалів широкого призначення, скло залишається одним із найбільш поширених матеріалів, що застосовуються на практиці.

На сьогодні скляна галузь – одна з найбільш стабільних в Україні. Щорічно галузь робить гідний вклад в показник ВВП країни. При цьому українські заводи з виробництва склотари щороку нарощують виробництво, задовольняючи внутрішній попит і збільшуючи обсяги експорту скляної продукції.

У 2019 Україна виробила 3,44 мільярда одиниць склотари, що на 8,1% більше, ніж за аналогічний період минулого року. Виробництво протягом останніх кількох років стабільно росло у всіх сегментах, крім фармацевтичної тари.

За оцінками АПСП «Скло України», за останнє десятиліття експортні поставки потроїлися, досягнувши 1,4 мільярда одиниць в 2019 році.

У першій половині 2020 року заводи України експортували 813,8 млн склотари, що на 20% більше, ніж за аналогічний період минулого року.

За підсумками 2020 року експорт склотари був більше 42% від загальних обсягів виробництва. За 10 років наша галузь збільшила обсяги виробництва майже в 3 рази – з 560 млн одиниць продукції до 1 млрд 400 млн одиниць продукції. [1].

**Постановка завдання дослідження.** Для виробництва скла потрібні високі температури, які, як правило, досягаються спалюванням природного газу. У печі суміш склобою та основної сировини нагрівається до температури 1600 градусів Цельсія. Через те, що виробничий процес потребує багато енергії, на виробників скла покладається особлива відповідальність. Технологічні інновації та корпоративні рішення, що приймаються на основі принципів сталого розвитку, ведуть до покращення енергоефективності [2].

Незважаючи на введення в дію за останні роки на скловарних підприємствах України декількох сучасних печей великої потужності, загальні питомі витрати енергії в галузі є значно більшими, ніж у промислово-розвинутих країнах. Тому в Україні існує подальша необхідність підвищення енергоефективності скляного виробництва у зв'язку з постійно зростаючою ціною органічного палива, насамперед природного газу, та жорсткою конкуренцією на світових ринках.

Рішення щодо зниження споживання енергії в скловарному виробництві можна реалізувати у двох напрямках: поліпшенням керування енергоспоживанням (зниження витрат на енергію при незмінному обсязі виробництва) і підвищенням ефективності виробництва шляхом скорочення долі некондиційних виробів та відходів (сталість витрат на енергію при зростанні випуску придатної продукції) [3].

Таким чином, регулятор температури в просторі скловарної печі повинен бути розроблений на основі ідентифікованих динамічних властивостей об'єкта керування. Регулятор повинен виробляти такий керуючий сигнал, який забезпечує швидке та монотонне у часі нагрівання злитків до заданої температури за заданий інтервал часу.

**Інструмент дослідження.** Для дослідження алгоритмів автоматичного керування температурою в робочому просторі скловарної печі у додатку Simulink математичного пакету MATLAB створена імітаційна модель системи автоматичного керування температурою. При цьому модель об'єкта

керування отримана за допомогою методу активного експерименту з використанням scada-програми zenon.

**Запропоноване рішення поставленого завдання.** Для розглянутого об'єкту, виходячи з його характеристик, було проведено дослідження з використанням оптимального регулятора для визначення граничних показників, P, PI, PID регуляторів. PID регулятор є кращим рішенням для об'єктів 1-2го порядків, а також має здатність компенсувати статичну помилку за її наявності. Дослідження і одержання параметрів для кожного з регуляторів було виконано методами PIDTUNE та AMIGO.

**Результати проведених досліджень.** В результаті проведених досліджень було отримано модель об'єкту керування, розроблено оптимальний регулятор, та визначено граничні показники, межах якої повинна відповідати розроблена система керування.

А саме,  $T_{\max}$  наростання = 3860 с,  $T_{\min}$  наростання = 1960 с,  $T_{\max}$  встановлення=9200.7 с,  $T_{\min}$  встановлення=6090.4 с. Перерегулювання максимум 5%, що дорівнює максимальному значенню уставки 1680 °С.

Також визначено структуру та параметри регулятора, оцінено роботу системи згідно з висунутими критеріями. Отримано залежності зміни роботи системи за критеріями в залежності від зміни параметрів регулятора, сформовано експертні правила.

**Висновки.** Отримані результати досліджень дозволили визначити межі налаштування параметрів регулятора. Регулятор дозволяє вивести температуру до заданого значення за заданий інтервал часу від 6090 до 9200с, що цілком відповідає вимогам технології виробництва скла. При цьому встановлено, що впровадження регулятора з визначеними параметрами призводить до економії природного газу на 3-5% за рахунок запобігання втрат теплоти під час нагріву скломаси.

#### Перелік посилань

1. Дмитро Олійник. Українські склозаводи стають все більш успішними на міжнародних ринках: [сайт]. – Режим доступу: <https://fru.ua/ua/media-center/blog/oliinyk/ukrajinski-sklozavodistayut-vse-bilsh-uspishnimi-na-mizhnarodnikh-rinkakh> (дата звернення 30.10.2021)

2. Ветропак Україна. Основи скла – технологія, термінологія, ноу-хау: [сайт]. – Режим доступу: <https://www.vetropack.ua/uk/sklo/glosarii/> (дата звернення 30.10.2021)

3. Кошельнік О.В., Морозов О.Є., Кошельнік В.М. Перспективні системи багатоступінчастої утилізації теплоти димових газів промислових скловарних печей безперервної дії./ Кошельнік О.В., Морозов О.Є., Кошельнік В.М // Промышленная теплотехника., 2010. - Т. 32, № 6. , с. 91-97.

#### Анотація

Проведене обґрунтування актуальності дослідження процесу автоматичного керування роботою скловарної печі. Здійснений розрахунок та порівняльний аналіз різних законів керування температурою в просторі скловарної печі. Отримані залежності критеріїв якості автоматичного керування температурою від параметрів регулятора, що дозволили сформулювати експертні правила його настройки.