

DOI: 10.18372/2310-5461.48.15094

УДК 681.17

Л. Д. Ярошук, канд. техн. наук, доц.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
orcid.org/0000-0001-8441-6692
e-mail: jarostsuk_ld@kpi.ua;**О. В. Конончук**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
orcid.org/0000-0002-3215-7876
e-mail: eva.kononchuk@gmail.com

МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ТА ДОТРИМАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ТЕХНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ

Вступ

Технічний вуглець (*Carbon black*) — це широківідомий компонент, що використовується як підсилювальний наповнювач у виготовленні протекторних шин для автомобілів та виробів із гуми, як чорний пігмент у поліграфічній галузі та електропровідна складова у електрохімічній промисловості.

На початку розвитку виробництва цього продукту, його називали «сажею», що на сьогодні не має нічого спільного з технічним вуглецем (ТВ), оскільки сучасне виробництво технічного вуглецю реакторним (пічним) методом, про який буде йти мова, автоматизоване. Сучасні засоби автоматизації забезпечують контроль та керування більшої технологічних змінних, результатом чого є продукт з визначеними характеристиками якості. Сажа ж є продуктом, що утворюється при відхиленні режимних параметрів від заданих технологічних норм.

Постановка проблеми

Наразі вимірювання характеристик технічного вуглецю навіть на розвинених виробництвах виконують переважно в лабораторних умовах. Лабораторний аналіз тривалий, інтервали між відбором проб вимірюються годинами. Втрачений час не дозволяє використати знання про якість продукту в системах керування. Це негативно впливає на перебіг технологічного процесу виробництва, а в результаті на економічні показники в цілому. Лабораторний метод визначення найбільш поширеного показника якості — дисперсності полягає у вимірюванні питомої площі поверхні адсорбційними методами аналізу [1]. Через високі температури в реакторі, при утворенні частинок ТВ, немає можливості відбору

проб технічного вуглецю. Тому відбір проби проводять на етапі уловлювання технічного вуглецю, після циклонів та фільтрів. Відсутність сигналу про якість продукції в системі керування не дозволяє підвищити ефективність виробництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Міжнародна спільнота вчених довгий час працювала над розробкою оперативного методу визначення розмірів частинок ТВ. Однією з відрізняючих точок у пошуку вирішення цієї проблеми, стало винайдення у 1980-х роках діагностики розмірів частинок сажі методом лазерного розжарювання (*Laser-Induced Incandescence – LII*). У першу чергу *LII* був винайдений для моніторингу викидів твердих частинок сажі, що утворювалися при спалюванні вуглеводневого палива [2], а також визначення викидів сажі методом *LII* від потужних дизельних двигунів та систем рециркуляції вихлопних газів [3]. Було розглянуто етапи утворення та швидкість зростання частинок вуглецю [4], у [5] проведені дослідження феноменологічної моделі поведінки утворення електропровідного ТВ різної форми методом термоокисного піролізу, у праці [6] розглянута проблематика методу вимірювання *LII* та властивостей, які набувають частинки сажі в процесі горіння. Метод *LII* для визначення розмірів частинок та об'ємної долі ТВ був також використаний в умовах високого тиску [7], розглянуто форми впливу на форму частинок та вихід ТВ при піролізі бензену [8], розглянуто визначення розмірів частинок сажі методом *LII* в ламінарному дифузійному полум'ї [9], а також досліджені інші характеристики впливу на середній діаметр частинок ТВ [10]. У праці [11] описано механізми утворення та формування ТВ, мікрострукту-

ру, морфологію, фізичні властивості та хімію поверхні, а також виробництво в цілому та наведено результати успішних випробувань методу *LII*.

Метод лазерного розжарювання зарекомендував себе як надійна технологія вимірювання, що дозволяє оперативно оцінювати розміри частинок та їх концентрації. У паці [12] розглянуто спосіб визначення дисперсності, що полягає у відборі проби аерозолі технічного вуглецю в реакторі методом *in situ* (за місцем, тобто в реакторі) та вимірюванні розмірів частинок ТВ методом *LII* з регулюванням рекомендованої системи підтримання співвідношення повітря/сировина. У даній роботі розглянуто систему керування дисперсністю в зоні гартування реактору.

Мета статті

Метою дослідження є обґрунтування та створення математичного забезпечення для систем керування процесами, що відбуваються у головному апараті виробництва — реакторі з урахуванням показників якості технічного вуглецю. Реалізація такої мети передбачає оцінювання стану та напрямків розвитку відповідних автоматичних засобів вимірювання, визначення структури системи, математичних та логічних закономірностей, які описують зв'язок між керованою та керовальною змінними.

Виклад основного матеріалу дослідження

Розглянемо використання існуючих методів вимірювання характеристики якості технічного вуглецю — дисперсності, на основі сучасного методу лазерного розжарювання (*Laser-Induced Incandescence* – *LII*) та результатах дослідження нечіткої системи керування в реакторі використовуючи дані цього методу.

Доцільність вимірювання дисперсності можна пояснити тим, що вона є основною морфологічною властивістю технічного вуглецю, яка формується саме в реакторі. Дисперсність визначають враховуючи міжнародний стандарт якості *ASTM International* (*American Society for Testing and Materials*), який співпрацює разом із міжнародною організацією зі стандартизації *ISO* (*International Organization for Standardization*).

Для врахування цього показника якості в системі керування реактором були досліджені його зв'язки з іншими технологічними змінними. Традиційними методами вимірювання дисперсності (розміру частинок) вважають методи безпосереднього вимірювання розмірів частинок ТВ (електронна мікроскопія) та вимірювання питомої площі поверхні однокочковим або багаточковим методами адсорбції азоту сумарної поверхні всіх частинок на одиницю об'єму чи ваги ТВ (*ASTM D6556*) або адсорбцією йоду на поверхні ТВ (*ASTM D1510*).

На рис. 1 представлена схема оперативного контролю дисперсності в реакторі. На наведеній схемі зображено відбір проби аерозолі ТВ, що виконується установкою, в склад якої входить обладнання для відбору проби методом *in situ* (5) через оптичне вікно у реакторі (1), прилад *LII* (6) та мікроконтролер (7).

Після отримання аналізу приладом *LII* (6) результат порівнюється із заданим значенням дисперсності певної марки ТВ за допомогою контролера (7) і якщо результат більше заданого значення (відповідно до стандарту *ASTM*) – необхідно зменшити витрату вхідного технологічного потоку 8, але якщо показник менше — витрату необхідно збільшити.

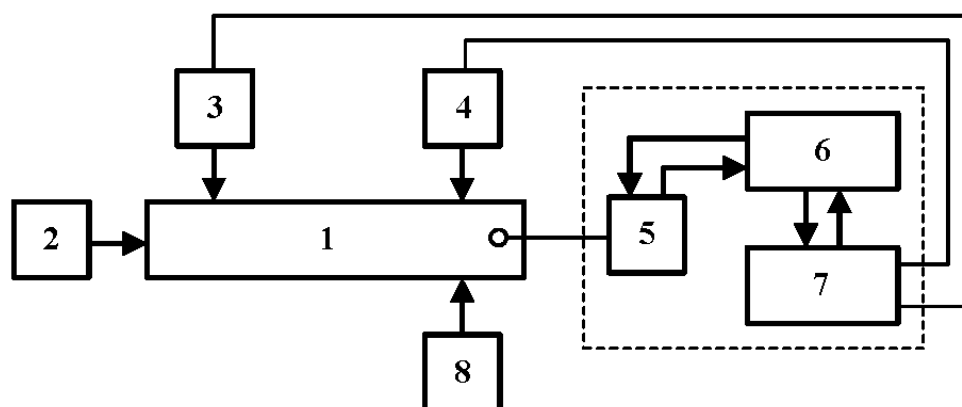


Рис. 1. Схема оперативного регулювання контролю якості в реакторі:
1 — реактор; 2 — паливо; 3 — повітря; 4 — сировина; 5 — система відбору проби *in situ*;
6 — прилад *LII*; 7 — мікроконтролер; 8 — вода

Принцип методу *LII* полягає в швидкому нагріванні частинок ТВ ультра-короткими високоенергетичними лазерними імпульсами. Темпера-

тура частинки ТВ збільшується до точки її розжарювання або навіть до температури випаровування (для технічного вуглецю ~ 3000 К).

Оскільки частинки ТВ втрачають додаткову енергію трьома шляхами: випаровуванням, теплопровідністю в навколишнє середовище та тепловим випромінюванням, то потужне теплове випромінювання може слугувати своєрідним тепловим сигналом, який вимірюють за допомогою оптичних фотодетекторів.

Виконавши відповідне калібрування та проаналізувавши тепловий сигнал, розраховується об'ємна частка та розміри первинних частинок технічного вуглецю.

Завдяки швидкому визначенню необхідних показників (усього декілька секунд або десятків секунд) за допомогою зворотного зв'язку є можливість здійснювати оперативний контроль властивостей ТВ в реакторі.

Використання цього методу надає можливість створювати системи керування процесами у

головному апараті виробництва — реакторі на основі інформації про властивості ТВ безпосередньо в зоні його отримання.

Нечітка система керування якістю в реакторі

Забезпечення надійного сигналу про поточне значення властивості, надає можливість використати його для керування процесом.

Як завжди, структура системи керування та технічне забезпечення можуть мати варіанти.

На рис. 2 наведена спрощена схема системи керування масо- та теплообмінними процесами, які відбуваються в зоні гартування.

Опишемо традиційну частину цього контуру: вимірювач температури в зоні (поз. 1А), показувальний вторинний прилад (поз. 1Б), регулятор (поз. 1В) та виконавчий механізм (поз. 1Д).

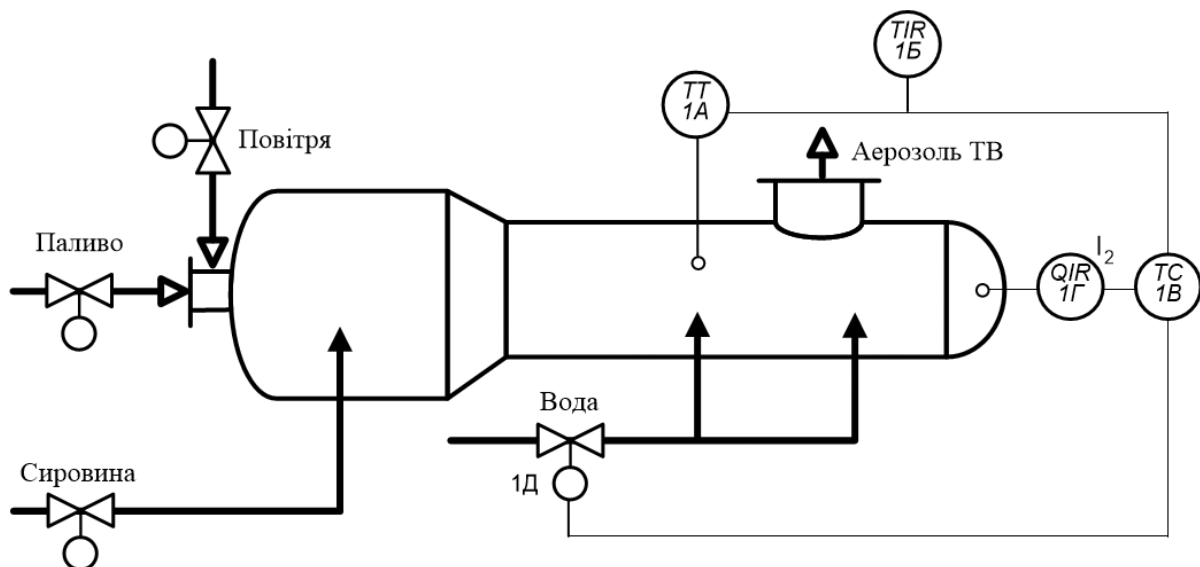


Рис. 2. Схема регулювання дисперсності з урахуванням показника *ASTM D1510* (йодний індекс)

Як видно зі схеми, контур керування повинен забезпечити певну температуру в цій зоні впливом на витрату води, що розпилюється в середовище частинок вуглецю. Таку задачу зазвичай розв'язують регулятором з ПІ-законом керування, вихідний сигнал якого за відомим математичним виразом залежить від відхилення поточного значення температура від заданого значення для кожної марки ТВ. Однак наявність збурень, що привносять властивості матеріальних потоків, стан обладнання (особливо форсунки) та похибки засобів автоматизації дають підстави вважати, що завдання ПІ-регулятора треба коригувати. Найкращим сигналом для корекції завдання автори вважають сигнал про значення властивості вуглецю, який надає описаний вище вимірювач, розташований в місці наглядного вікна. Згідно до оновленого алгоритму керування, сиг-

нал від вимірювача показника якості (поз. 1Г) надходитиме в регулятор (поз. 1В) для коригування завдання температури.

Оскільки наразі не існує точного математичного виразу для залежності між поточним значенням властивості ТВ та температурою в зоні гартування, то автори запропонували описати цю залежність за допомогою нечітких множин та нечіткого логічного висновку, який притаманний фахівцям з виробництва ТВ (особливо стосовно процесу гартування).

Отже, для керування зоною гартування використано нечітку автоматичну систему керування (НчАСК), для спрощення її схеми будемо вважати, що регулятор (поз. 1В) містить як традиційну ПІ-складову, так і пристрій розрахунку сигналу корегування (ПСК). Саме корегування відбуватиметься за значенням дисперсності технічного

вуглецю, з урахуванням стандартизованого показника *ASTM D1510* — йодного індексу.

Опишемо лінгвістичні змінні для НчАСК: *I* — йодний індекс, *T* — температура гартування (табл. 1).

Універсум йодного індексу $I = 38 \dots 48$ м²/г, універсум температури гартування $T = 750 \dots 810$ °С.

Терм-множинами першої лінгвістичної змінної «йодний індекс» візьмемо множини {«Низький», «Нормальний», «Високий»}.

Терм-множинами другої лінгвістичної змінної «температура гартування» візьмемо множини {«Низька», «Нормальна», «Висока»}.

Таблиця 1

Опис лінгвістичних змінних

Лінгвістична змінна <i>I</i>	Йодний індекс	Низький Нормальний Високий	$38 < I < 48$
Лінгвістична змінна <i>T</i>	Температура гартування	Низька Нормальна Висока	$750 < T < 810$

На рис. 3 наведені документи *MathCad* з функціями належності для термів: «Низький» (*I_l*), «Нормальний» (*I_n*), «Високий» (*I_h*) та всіх термів лінгвістичної змінної «йодний індекс».

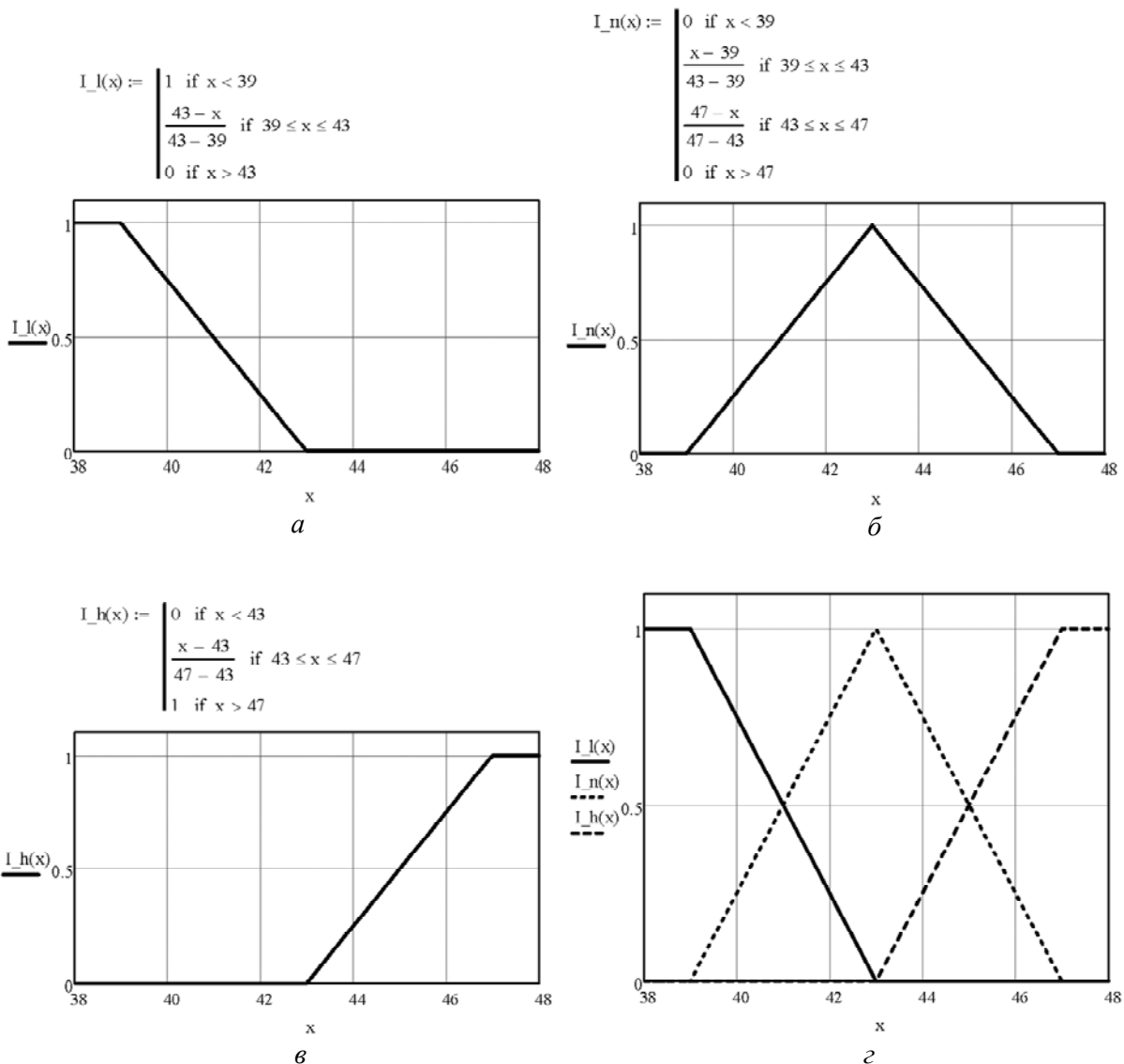


Рис. 3. Документ *MathCad* з функцією належності: а — «Низький» (*I_l*); б — «Нормальний» (*I_n*); в — «Високий» (*I_h*); з — усіх термів лінгвістичної змінної «йодний індекс»

На рис. 4 наведені документи *MathCad* з функціями належності для термів: «Низька» (Tq_l), «Нормальна» (Tq_n), «Висока» (Tq_h) та всіх термів разом лінгвістичної змінної «температура гартування».

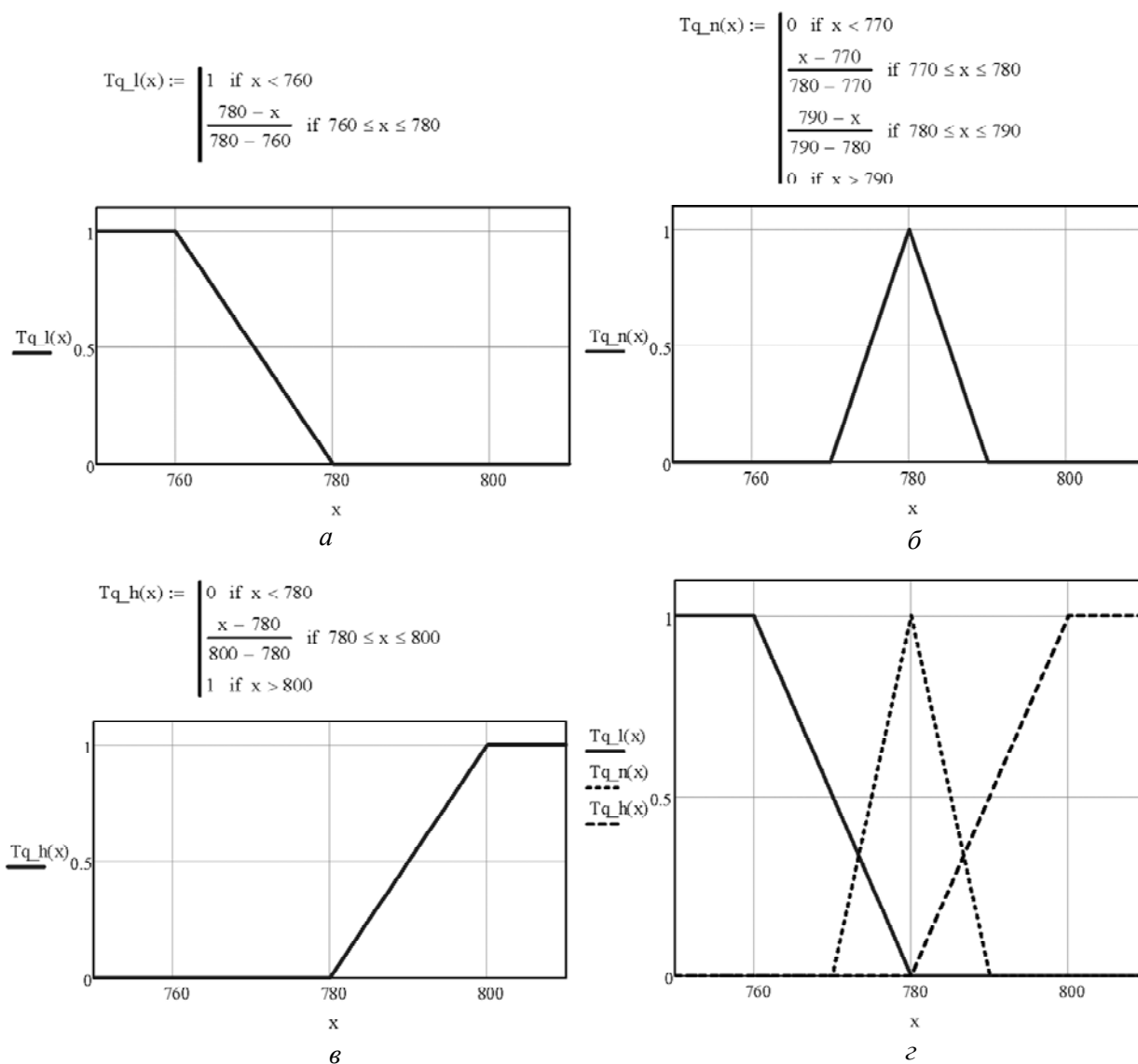


Рис. 4. Документ *MathCad* з функцією належності:
а — «Низька» (Tq_l); б — «Нормальна» (Tq_n); в — «Висока» (Tq_h);
г — усіх термів лінгвістичної змінної «температура гартування»

Логічні закономірності для визначення необхідної температури в зоні гартування (правила продукції) викладені таким чином:

Нечіткі правила керування температурою з коригуванням по «йодному індексу»:

ЯКЩО «йодний індекс» — Низький ТО «температура гартування» — низька;

ЯКЩО «йодний індекс» — Нормальний ТО «температура гартування» — нормальна;

ЯКЩО «йодний індекс» — Високий ТО «температура гартування» — висока.

Покажемо, як розрахувати необхідне значення температури при «йодний індекс» $I = 45 \text{ м}^2/\text{г}$ ступінь входження цього значення I у кожен i -й терм, $\mu(45)$:

– для терму «Низька» ступінь входження $\mu(45) = 0$;

– для терму «Нормальна» ступінь входження $\mu(45) = 0,5$;

– для терму «Висока» ступінь входження $\mu(45) = 0,5$;

На рис. 5 наведено документ *MathCad* з прикладом розрахунку керувального впливу при $I = 45 \text{ м}^2/\text{г}$ та графіком, який обмежує множину можливих значень температури. Така множина є результатом застосування методів підсумовування при суперпозиції нечітких множин та добутку при модифікації правих частин правил. За допомогою розрахунку центра ваги фігури

визначено значення температури гартування, яке відповідає $I = 45 \text{ м}^2/\text{г}$:

– s_m — ступінь входження μ (45) для терму «Низька» йодний індекс;

– n_m — ступінь входження μ (45) для терму «Нормальна» йодний індекс;

– h_m — ступінь входження μ (45) для терму «Висока» йодний індекс.

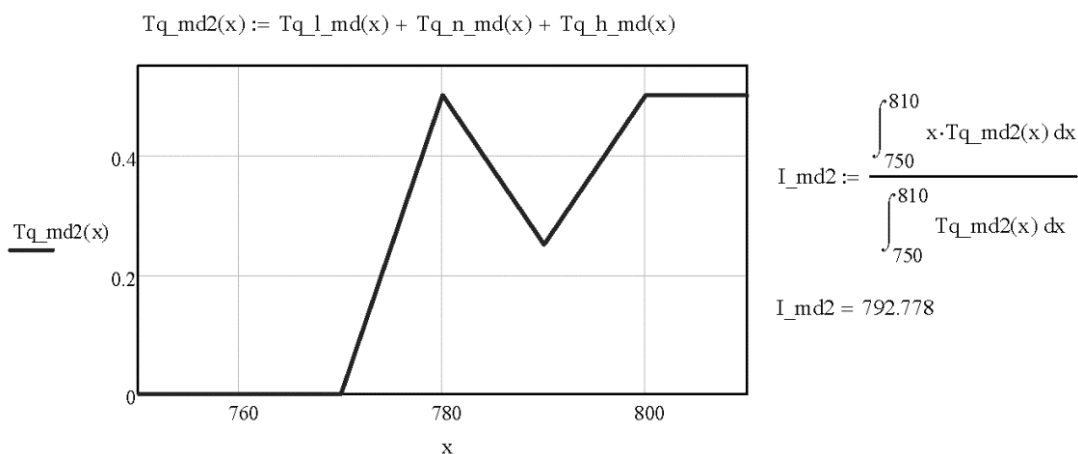


Рис. 5. Документ *MathCad* з результатом застосування I_md2

На рис. 6 наведено документ *MathCad* з прикладом розрахунку керувального впливу при $I = 45 \text{ м}^2/\text{г}$ та графіком, який обмежує множину можливих значень температури, що є результатом застосування методів об'єднання при суперпозиції нечітких множин та добутку при модифікації правих частин правил. Також за допомогою розрахунку центра ваги фігури визначено значення температури гартування, яке відповідає $I = 45 \text{ м}^2/\text{г}$. При розрахунку використовувалися такі позначення:

$x := 750..810$	$l_m := 0$	$l_m := I_l(45)$
	$n_m := 0.5$	$n_m := I_n(45)$
	$h_m := 0.5$	$h_m := I_h(45)$

$Tq_l_md(x) := Tq_l(x) \cdot l_m$	$I_md := \frac{\int_{750}^{810} x \cdot Tq_md(x) dx}{\int_{750}^{810} Tq_md(x) dx}$
$Tq_n_md(x) := Tq_n(x) \cdot n_m$	
$Tq_h_md(x) := Tq_h(x) \cdot h_m$	

$Tq_md(x) := \max(Tq_l_md(x), Tq_n_md(x), Tq_h_md(x))$ $I_md = 793.201$

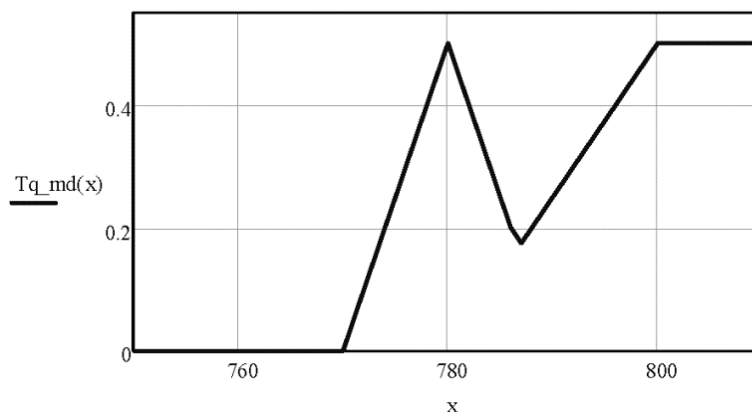


Рис. 6. Документ *MathCad* з результатом застосування методів об'єднання та добутку

На рис. 7 наведено документ *MathCad* з прикладом розрахунку керувального впливу при $I = 45 \text{ м}^2/\text{г}$ та графіком, який обмежує множину можливих значень температури, що є результатом застосування методів об'єднання при суперпозиції нечітких множин та мінімуму при модифікації

правих частин правил. Також за допомогою розрахунку центра ваги фігури визначено значення температури гартування, яке відповідає $I = 45 \text{ м}^2/\text{Г}$.

$$\begin{aligned}
 Tq_l_mm(x) &:= \begin{cases} Tq_l(x) & \text{if } Tq_l(x) \leq l_m \\ l_m & \text{otherwise} \end{cases} & I_mm &:= \frac{\int_{750}^{810} x \cdot Tq_mm(x) \, dx}{\int_{750}^{810} Tq_mm(x) \, dx} \\
 Tq_n_mm(x) &:= \begin{cases} Tq_n(x) & \text{if } Tq_n(x) \leq n_m \\ n_m & \text{otherwise} \end{cases} & & \\
 Tq_h_mm(x) &:= \begin{cases} Tq_h(x) & \text{if } Tq_h(x) \leq h_m \\ h_m & \text{otherwise} \end{cases} & & \\
 & & & I_mm = 791.312 \\
 Tq_mm(x) &:= \max(Tq_l_mm(x), Tq_n_mm(x), Tq_h_mm(x))
 \end{aligned}$$

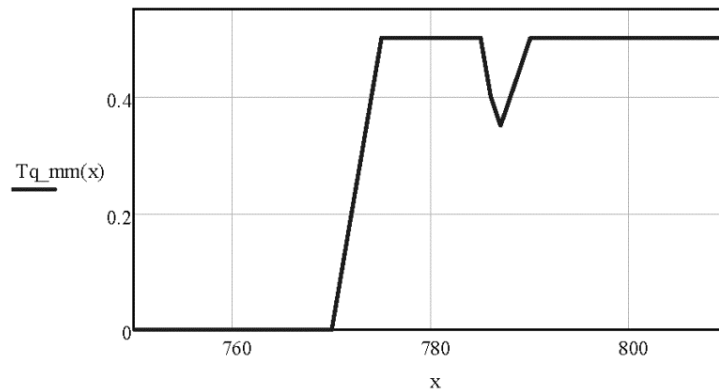
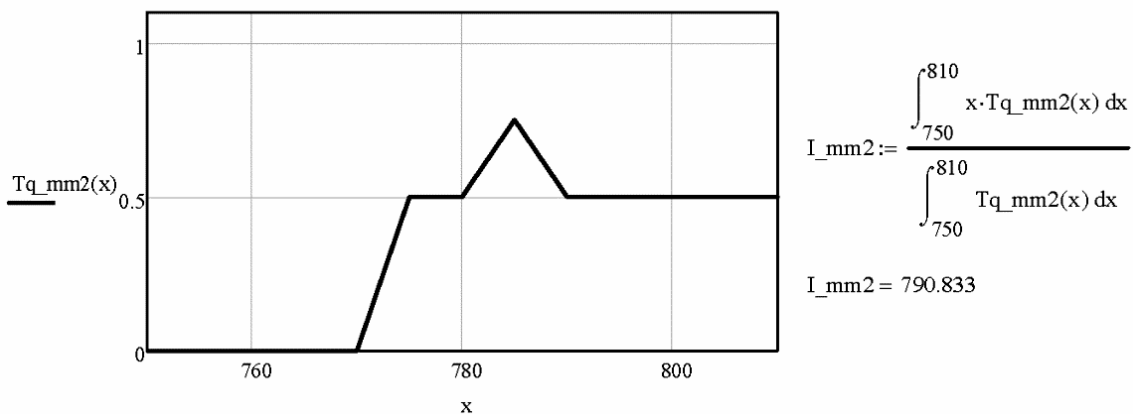


Рис. 7. Документ *MathCad* з результатом застосування методів об'єднання та мінімуму

На рис. 8 наведено документ *MathCad* з прикладом розрахунку керувального впливу при $I = 45 \text{ м}^2/\text{Г}$ та графіком, який обмежує множину можливих значень температури, що є результатом застосування методів підсумовування при суперпозиції нечітких множин та мінімуму при модифікації правих частин правил. За допомогою розрахунку центра ваги фігури визначено значення температури гартування, яке відповідає $I = 45 \text{ м}^2/\text{Г}$.

$$Tq_mm2(x) := Tq_l_mm(x) + Tq_n_mm(x) + Tq_h_mm(x)$$



$$\begin{aligned}
 I_mm2 &:= \frac{\int_{750}^{810} x \cdot Tq_mm2(x) \, dx}{\int_{750}^{810} Tq_mm2(x) \, dx} \\
 I_mm2 &= 790.833
 \end{aligned}$$

Рис. 8. Документ *MathCad* з результатом застосування методів підсумовування та мінімуму

На рис. 5–8 також наведені значення температур, які будуть використані як коригувальні при $I = 45 \text{ м}^2/\text{Г}$. З них видно, що суттєвої різниці між ними немає (найменше з них $\sim 790,8 \text{ }^\circ\text{C}$, а найбільше $\sim 793,2 \text{ }^\circ\text{C}$). Отже можна використати будь-яку комбінацію методів роботи з нечіткими множинами.

Реалізація моделі НчАСК засобами *MatLab*

Працездатність математичного забезпечення НчАСК була перевірена засобами *MatLab*.

На рис. 9 та 10 наведено графіки функцій належності вхідної змінної «йодний індекс» та вихідної змінної «температура гартування» для термів низький, нормальний, високий.

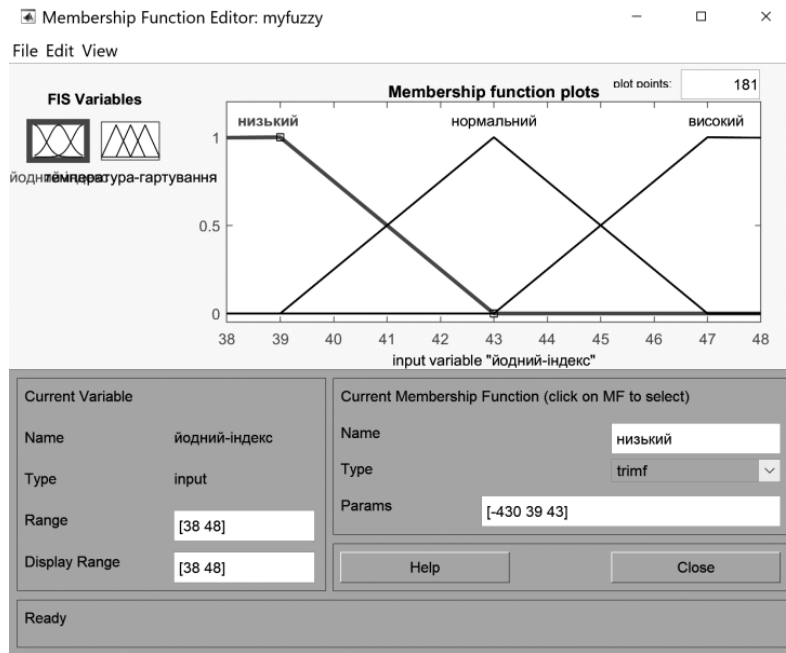


Рис. 9. Вікно редактора функцій належності для вхідної змінної «йодний індекс»

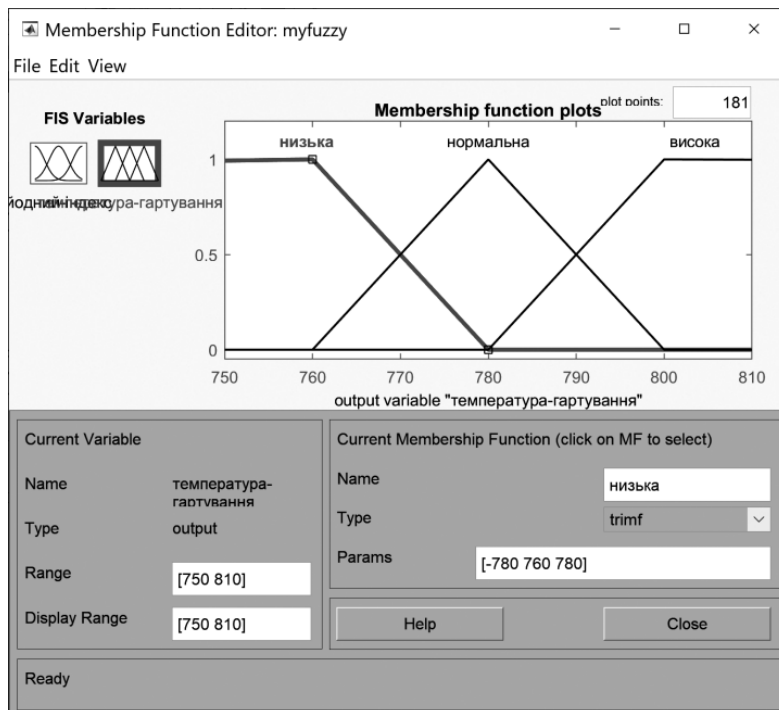


Рис. 10. Вікно редактора функцій належності для вихідної змінної «температура гартування»

На рис. 11 можна побачити результати роботи нечіткої системи, які свідчать про те, яка є відповідність між значенням йодного індексу і температурою гартування. Наприклад, при значенні $I = 43 \text{ м2/г}$ треба рекомендувати підтримувати температуру в зоні гартування $T = 780 \text{ С}$.

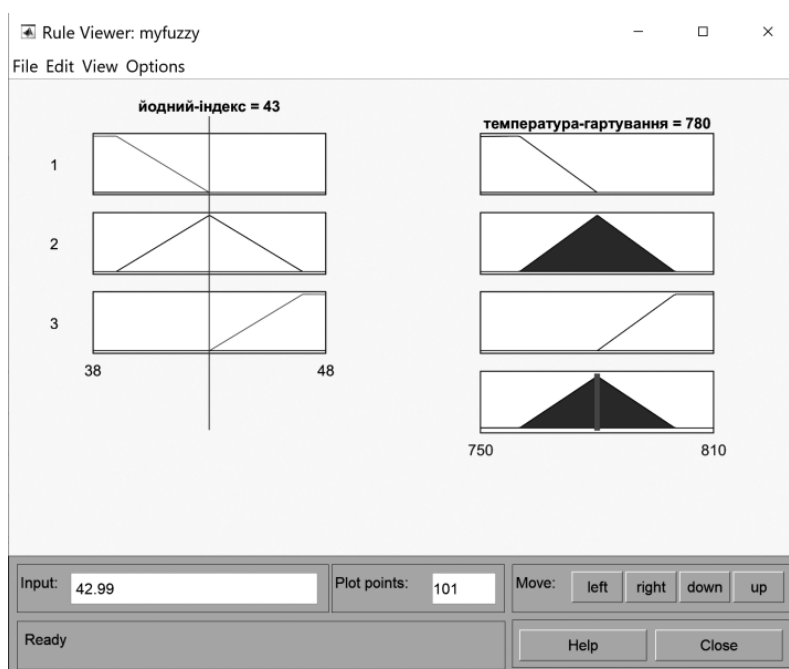


Рис. 11. Вікно перегляду результату використання правил продукції

Висновки

Результати проведеного дослідження показують, що впровадження контролю дисперсності технічного вуглецю з використанням сучасного методу вимірювання розмірів частинок (*LII*) та коригування температури реактора в зоні гартування, сприятимуть дотриманню міжнародних стандартів якості продукції. Використання бібліотеки *Fuzzy Logic* та імітація роботи контролера в системі *Simulink* продемонстрували відсутність логічних помилок у математичному забезпеченні НчАСК і дозволяють рекомендувати його до впровадження.

Використовуючи досвід створення запропонованої системи і поширюючи його на інші показники якості ТВ та зони реактора, є змога перетворити отримання технічного вуглецю у високопродуктивне, безпечне та захищене від зайвого впливу людей виробництво.

ЛІТЕРАТУРА

1. Конончук, О. В., Ярошук Л. Д. (2019). Методи визначення дисперсності технічного вуглецю. Матеріали XIII науково-практичної конференції студентів. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. (4–5 грудня 2019, Київ, Україна). С. 12–13.
2. Dec John E., Zur Loye, Axel O., Siebers Dennis L. (1991). Soot Distribution in a D.I. Diesel Engine Using 2-D Laser-Induced Incandescence Imaging. International Congress and Exposition Detroit, Michigan. Warrendale, PA: SAE publications Group.
3. Neill W. Stuart, Smallwood, Gregory J., Snelling, David R., Sawchuk, Robert A., Clavel, Dan, Gareau, Daniel, Chippior, and Wallace L. (2002). Effect of EGR on heavy-duty diesel engine emissions characterized with laser-induced incandescence. ASME 2002 Internal Combustion Engine Division Fall

Technical Conference. New Orleans, LA: Amer Society of Mechanical.

4. Surovikin V. F., Shaitanov A.G. (2009). Induction period for the formation of nanodispersed carbon particles during hydrocarbon pyrolysis behind a reflected shock front. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 45(2), P. 190–197.

5. Surovikin V. F. Razd'yakonova, G. I. (2013). The synthesis of different forms of electrically conductive carbon black by the thermo-oxidative pyrolysis of hydrocarbons. Phenomenological and mathematical models of the synthesis process. *International Polymer Science and Technology*. 40(3), 37–42.

6. Johansson J. (2012). Laser-Induced Incandescence for Soot Diagnostics: Theoretical Investigation and Experimental Development. Lund, Sweden: Lund University.

7. Hofmann M. (2006). Laser-induced incandescence for soot diagnostics at high pressure. (Doctoral dissertation). Ruprecht Karl University of Heidelberg, Heidelberg.

8. Starke, R. Roth, P. (2002). Soot particle sizing by LII during shock tube pyrolysis of C₆H₆. *Combustion and Flame*, 127(4), 2278–2285.

9. Snelling D. R., Smallwood G. J., Liu F., G., Ömer L., and Bachalo W. D. (2005). A calibration-independent laser-induced incandescence technique for soot measurement by detecting absolute light intensity. *Applied Optics*, 44(31), 6773–6785.

10. Surovikin V. F., Shaitanov A.G. (2007). Formation and growth of dispersed carbon particles during pyrolysis of ethylene, benzene, and naphthalene in a reflected shock. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 43(4), 442–448.

11. Donnet, Jean-Baptiste. Carbon Black: Science and Technology. New York: Marcel Dekker, Inc.

12. Stagg, B. J. (2007). U.S. Patent No. 7,167,240. Acworth, GA: U.S. Patent and Trademark Office.

Ярошук Л. Д., Конончук О. В.

МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ТА ДОТРИМАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ТЕХНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ

Виробництво технічного вуглецю характеризується стабільним розвитком. Ця тенденція пов'язана з широким спектром його застосування як основної так і додаткової сировини у досить різноманітній продукції – гуми для шин та транспортерів, пігменти, електроди тощо. Наразі нормативними документами визначено декілька типів технічного вуглецю, що свідчить про потрібну різноманітність вимог до його властивостей. Морфологічні властивості технічного вуглецю дисперсність (розміри частинок) та структурність (розміри та форма агрегатів) є своєрідними показниками якості кінцевого продукту, які формуються в основному технологічному апараті – реакторі, з урахуванням стандартів якості ASTM (D6556, D1510, D3765, D2414, D3493). Автори наводять граф зв'язків дисперсності з основними технологічними змінними, який допомагає визначитися зі структурою системи керування реактором та свідчить про те, що різні показники якості формуються спільними чинниками. Основний спосіб визначення цих показників – лабораторний. Автори на основі аналізу стану вимірювань властивостей вуглецю автоматичними засобами зупинили свою увагу на пристрої з ефектом лазерного розжарювання (Laser-Induced Incandescence – LII) й описали його роботу з точки зору застосування у системі керування. У статті подано результати дослідження – реактору з точки зору керування процесами, які в ньому відбуваються: горіння газоподібного палива, реакції перетворення сировини у вуглець та його гартування. Кожна зазначена зона (з умовними границями) є окремим об'єктом керування з заданими режимними параметрами. Спираючись на вибраній пристрій вимірювання дисперсності (розмірів частинок ТВ), запропоновано використати цей показник для визначення коригувальних впливів в автоматичній системі керування температурним режимом зони гартування реактора. На виході з реактора вимірюється дисперсність вуглецю з урахуванням стандартизованого показника якості D1510 (йодного індексу), при формуванні завдання температури регулятора в зоні гартування. З огляду на відсутність адекватних і додаткових до застосування в виробничих умовах математичних залежностей між дисперсністю та температурою в цій зоні, автори запропонували апарат нечітких множин та нечіткої логіки для створення системи керування. В статті описані відповідні лінгвістичні змінні, зокрема надано математичні вирази та графіки функцій належності, наведено також правила продукції. Верифікація математичного забезпечення нечіткого контролера для визначення значення завдання температури проведена за допомогою математичного процесора MatLab.

Ключові слова: технічний вуглець; якість; дисперсність; реактор; гартування; нечітка система керування.

Yaroshchuk L. D., Kononchuk O. V.

METHOD OF MEASUREMENT AND IMPLEMENTATION OF CARBON BLACK INDICATORS

Carbon black production is characterized by stable development. This tendency is associated with a wide range of its use as the main and additional feedstock in a product diversity - rubber for tires and conveyors, pigments, electrodes, etc. Several types of carbon black now been carried out by regulatory documents, which indicates the necessary variety of requirements for its properties. The morphological properties of carbon black fineness (particle size) and structure (aggregate size) are peculiar indicators of the quality of the final product, which are formed in the main technological apparatus - the reactor, taking into account quality standards ASTM (D6556, D1510, D3765, D2414, D3493). The authors provide a graph of relations between carbon black fineness and the main technological variables, which helps to determine the structure of the reactor control system and indicates that various quality indicators are forming by common factors. The main way to determine these indicators is laboratory analyses. Based on the analysis of the state of measurements of carbon properties by automatic means, the authors focused their attention on device with the effect of laser incandescence (Laser-Induced Incandescence - LII) and described its operation in terms of the use in a control system. The article presents the results of research - a reactor from the point of view of controlling the processes that occur in it: combustion of gaseous fuel, reactions of converting feedstock into carbon and its quenching. Each specified zone (with conditional boundaries) is a separate control object with specified mode parameters. Based on the selected device for measuring the carbon black particle fineness, it was proposed to use this indicator to determine the corrective actions in the automatic control system for the temperature regime of the reactor quenching zone. At the outlet of the reactor, the carbon black fineness is measured taking into account the standardized quality indicator D1510 (iodine index), when the temperature setting is formed for the regulator in the quenching zone. Taking into account the lack of adequate and suitable for use in industrial conditions, mathematical relationships between carbon black fineness and temperature in this zone, the authors proposed the apparatus of fuzzy sets and fuzzy logic for creating a control system. The article describes the relevant linguistic variables, in particular, the mathematical expressions and graphs of the membership functions are provided, the rules of production also had given. Verification of the fuzzy controller software for determining the value of the temperature setting was carried out using the MatLab mathematical processor.

Keywords: carbon black; quality; carbon black fineness; reactor; quenching; fuzzy control system.

Ярошук Л. Д., Конончук О. В.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ И СОБЛЮДЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

Производство технического углерода характеризуется стабильным развитием. Эта тенденция связана с широким спектром его применения как основного так и дополнительного сырья в достаточно разнообразной продукции - резины для шин и транспортеров, пигменты, электроды и др. Сейчас нормативными документами определено несколько типов технического углерода, что свидетельствует о необходимом разнообразии требований к его свойствам. Морфологические свойства технического углерода дисперсность (размеры частиц) и структурность (размеры и форма агрегатов) являются своеобразными показателями качества конечного продукта, которые формируются в основном технологическом аппарате — реакторе, с учетом стандартов качества ASTM (D6556, D1510, D3765, D2414, D3493). Авторы приводят граф связей дисперсности с основными технологическими переменными, который помогает определиться со структурой системы управления реактором и свидетельствует о том, что различные показатели качества формируются общими факторами. Основной способ определения этих показателей — лабораторный. Авторы на основе анализа состояния измерений свойств углерода автоматическими средствами остановили свое внимание на устройстве с эффектом лазерного накала (Laser-Induced Incandescence — LII) и описали его работу с точки зрения использования в системе управления. В статье представлены результаты исследования — реактора с точки зрения управления процессами, которые в нем происходят: горение газообразного топлива, реакции превращения сырья в углерод и его закалка. Каждая указанная зона (с условными границами) является отдельным объектом управления с заданными режимными параметрами. Основываясь на выбранном устройстве измерения дисперсности (размеров частиц ТВ), предложено использовать этот показатель для определения корректирующих воздействий в автоматической системе управления температурным режимом зоны закалки реактора. На выходе из реактора измеряется дисперсность углерода с учетом стандартизированного показателя качества D1510 (йодного индекса), при формировании задания температуры регулятору в зоне закалки. Учитывая отсутствие адекватных и пригодных к применению в производственных условиях математических зависимостей между дисперсностью и температурой в этой зоне, авторы предложили аппарат нечетких множеств и нечеткой логики для создания системы управления. В статье описаны соответствующие лингвистические переменные, в частности предоставлены математические выражения и графики функций принадлежности, приведены также правила продукции. Верификация математического обеспечения нечеткого контроллера для определения значения задания температуры проведена с помощью математического процессора MatLab.

Ключевые слова: технический углерод; качество; дисперсность; реактор; закалка; нечеткая система управления.

Стаття надійшла до редакції 20.11.2020 р.
Прийнято до друку 10.12.2020 р.