

О. Г. Дрючко, О. В. Шефер, Б. Р. Боряк, М. К. Бороздін, В. М. Галай, Р. В. Захарченко

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

РОЗРОБКА МОДУЛЕЙ ТЕРМОРЕГУЛЮВАННЯ ДЛЯ ЗОННОЇ ПЕРЕРОБКИ ПЛАСТИЧНИХ МАС ЕКСТРУЗІЄЮ

Анотація. Розроблено пристрій керування для встановлення та регулювання профілю теплового зонованого поля екструзійного каналу переробки пластмас в залежності від виду вихідної сировини; вибору режимів для створення умов стабілізації ефективного проведення технологічного процесу й одержання заданої якості екструдата; конструкційних особливостей виготовляємої продукції; можливостей й досконалості основного і допоміжного оснащення, продуктивності його роботи; ступеню підготовленості обслуговуючого персоналу до забезпечення виробництва. Згідно стандарту ІЕС 60584 1:2013 в якості опорних аналітичних сигналів в розробці використані відповідні стандартні значення різниці потенціалів типових градувальних таблиць термопар ТХА (тип К). Корегування середньої теплової потужності, що підводиться нагрівниками в окремих функціонально-технологічних зонах, здійснюється фазовим методом.

Ключові слова: переробка пластмас, метод екструзії, профіль термоекструзійного каналу, системи управління, конструктивні особливості.

Вступ

У зв'язку зі зростанням об'ємів виробництва полімерних матеріалів великого значення набувають питання, пов'язані зі створенням високопродуктивного переробного обладнання та вдосконаленням чинного. Серед численних способів переробки полімерів найпоширенішим є метод екструзії. За оцінкою фахівців, на сьогоднішній день до 60% світового виробництва пластмас переробляється саме цим методом. Він полягає в продавленні матеріалу з високою в'язкістю у рідкому стані через формуючий інструмент (екструзійну головку, фільтру), з метою отримання виробу з поперечним перерізом потрібної форми [1], та з подальшими охолодженням, калібруванням і т. д. Використання шнекових апаратів при переробці полімерних матеріалів обумовлено їх високими технологічними показниками, головними з яких є безперервність

ведення процесу, відносна простота конструкції та порівняно невеликі енерго- та металозатрати. Цим пояснюється широке використання екструдерів у низці галузей: кабельній, хімічній, харчовій та інших.

При переробці полімерів все частіше використовуються композиційні матеріали, наповнювачі, барвники, легуючі добавки, які суттєво змінюють фізико-механічні характеристики сировини. Розширення асортименту полімерів, суттєве збільшення їхнього виробництва потребують створення високопродуктивного та ресурсоенергоощадного обладнання для їх переробки у найрізноманітніші вироби, [2, 3]. На сьогоднішній день при екструзії полімерів широкого використання набули одночерв'ячні екструдери (рис. 1, [1]), в яких процес завантаження (I); плавлення, гомогенізації (II); створення тиску і дозування (III) виконуються одним робочим органом – шнеком (черв'яком).

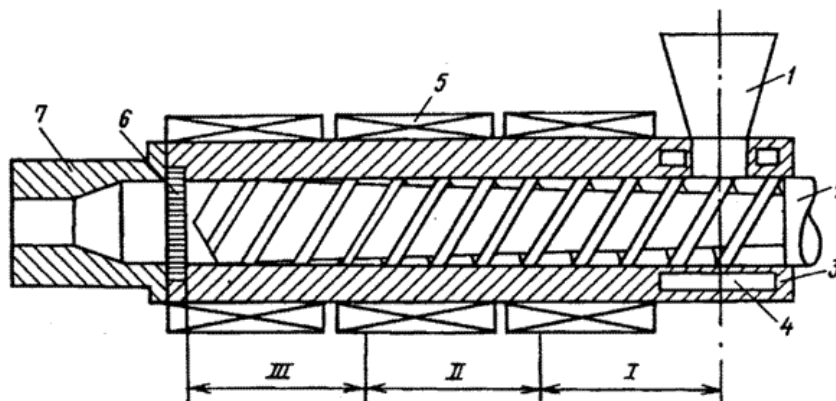


Рис. 1. Схема одношнекового екструдера без зони дегазації [1]: 1 - бункер; 2 - шнек; 3 - циліндр, 4 - порожнина для циркуляції води; 5 - нагрівачі; 6 - решітка з сітками; 7 - формуюча головка; I, II, III - технологічні зони

детально поведінка матеріалу послідовно на кожному етапі екструзії описана в [1].

Недоліком одностадійних черв'ячних екструдерів є прив'язка всіх цих процесів один до одного, тому недосконалість якогось із них призводить до зміни параметрів інших стадій, що значно ускладнює керування ними і унеможливає їх оптимізацію. Проаналізувавши технічні умови на виробі з

полімерної сировини (особливо крупно-погонні, профільовані) можна зробити висновок, що допуски на геометричні розміри полімерної продукції в багатьох випадках завищені на 10-20% [3, 4]. Все це пов'язано з недосконалістю існуючих технологічних ліній, які створені на базі одночерв'ячних екструдерів. При цьому виникає поперечна та поздовжня різнововічність заготовок через пульсації тиску в

зоні дозування. Усунення коливань тиску дає змогу зменшити допуски на продукцію, а це призведе до суттєвої економії вихідного полімеру, енергії, яка витрачається на його перероблення, зменшення кількості браку, яка потребує утилізації.

Відомо, що на тиск і якість процесів, які відбуваються в екструдері впливає природа і гранулометричний склад сировини, коливання температури, швидкість обертання черв'яка, зміна в'язкості розплаву і тиску в середині екструдера. Нестабільність останніх призводить до коливання тиску на вході формуючої головки і продуктивності, а це, як наслідок, призводить до необхідності встановлення завищених допусків на геометричні розміри екструдата.

Рішенням вказаних проблем може бути використання каскадних схем екструзії [3, 4], де всі процеси розділяються на окремі операції чи їх групи, з можливістю оптимізації процесів за рахунок автономного керування. Саме тому доцільно використовувати більш універсальне обладнання для переробки полімерів – каскадні екструдери (наприклад, рис. 2, [4]). Це дозволяє встановлювати раціональні режими роботи виділених операцій при якісному веденні всього технологічного процесу в цілому.

В такій схемі передбачено виділення в окремі операції: дозоване живлення, плавлення та гомогенізація, створення тиску та дозування. Всі пристрої оснащені окремими приводами з можливістю автономного керування процесами, які в них передбачені. Дозоване живлення дискового екструдера дозволяє регулювати термо-механічне навантаження на розплаву за рахунок можливості зміни обертів дискового екструдера при незмінній продуктивності. До того ж таке дозоване живлення дозволяє реалізувати модель диспергованого плавлення, енергоефективність якої в декілька разів вища, ніж при використанні пробкової моделі плавлення, яка реалізується в класичних черв'ячних екструдерах. Гомогенізація розплаву відбувається в робочих зазорах 9, величину яких можна змінювати конструктивними особливостями і формою шнека (наприклад, переміщуючи диски шнека 2). Задачею розплавлювача-гомогенізатора є плав-

лення матеріалу та його перемішування. Функцію дозування розплаву в зону формування може виконувати черв'ячний в'язкісний насос, який використовується у варіантах класичної екструзії, або об'ємний шестеренний насос 3 (рис. 2) з жорсткою напірною характеристикою. Шестеренний насос в такому екструдері виконує подвійну роль і має кілька переваг: по-перше, завдяки значному внутрішньому опору він відсікає всі коливання тиску та продуктивності, які накопичувалися на попередніх стадіях; по-друге, шестеренний насос забезпечує стабільний тиск та продуктивність безпосередньо на вході формуючого органу.

Аналіз технологічного процесу екструзії дозволив виявити характерні динамічні особливості екструдера як об'єкта управління. Встановлено, що тепловий стан окремих зон екструдера визначається не тільки тепловою енергією нагрівачів та енергією, що виділяється в полімері за рахунок в'язкого тертя, а й характером взаємовпливу елементів та теплових зон екструдера.

В [3] встановлено, що розігрів і плавлення полімерних матеріалів в пластикуючих екструдерах відбувається в основному за рахунок дисипативного джерела тепла, на що витрачається більше 90% механічної енергії, а на його пересування витрачається не більше 10%. При цьому корпус екструзійної машини практично на всій довжині працює в режимі відведення тепла, за винятком початкових ділянок, що припадають на зону завантаження. За відомостями [3-7] можна узагальнити способи обігріву екструдерів та систем регулювання температури в їх функціональних зонах. Встановлено, що найбільш прийнятним способом обігріву промислових екструдерів є електричний спосіб з використанням спіральних трубчастих електронагрівачів опору, залитих в алюмінієві блоки у вигляді напівкілець, що охоплюють циліндр екструдера по всій довжині зони.

Аналіз використання існуючих розробок комбінованих САР тепловим режимом в екструдерах вказує на можливість успішного поєднання й спряження аналогових схемо-технічних рішень в контурі управління цифрових мікроконтролерів.

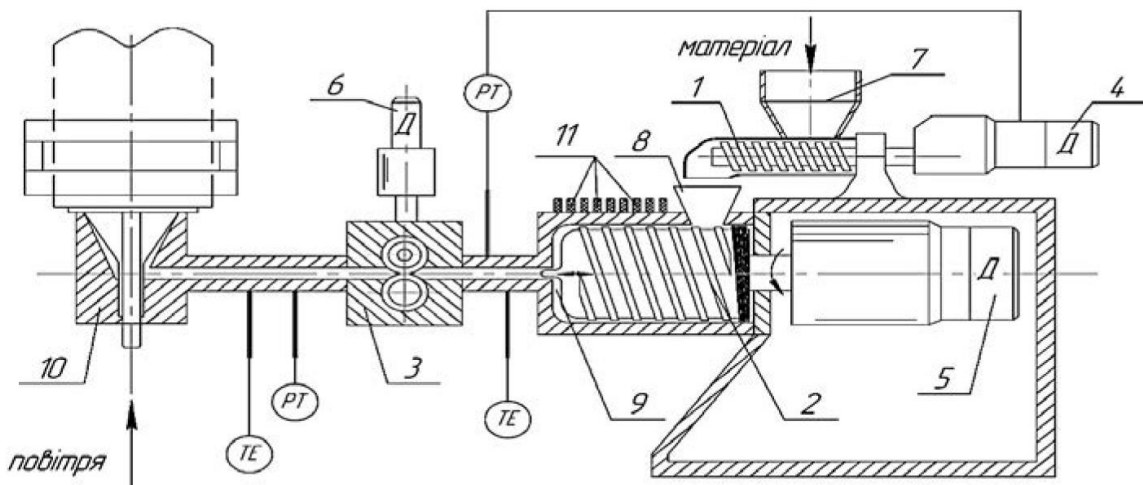


Рис. 2. Варіант структурно-функціональної схеми апаратурного оформлення каскадного шнекового екструдера [4]:

- 1 – дозатор; 2 – екструдер; 3 – шестеренний насос; 4, 5, 6 – приводи обертових органів екструдера; 7 – бункер; 8 – завантажувальна горловина; 9 – торцевий робочий зазор дискового екструдера; 10 – формувальний інструмент; 11 – модульні зони нагрівачів з датчиками температури параметру; РТ – датчики тиску; ТЕ – датчики температури

Для стабілізації основного технологічного параметра процесу екструзії - температури розплаву полімеру - розробляються алгоритми корекції температурних режимів стінок в функціональних зонах та головці з урахуванням вимог виробників до теплового режиму обробки полімеру. Такі пристрої забезпечують збереження електроенергії та підвищують тривалість експлуатації нагрівачів.

Наведені відомості свідчать про складність контролю нагрівання в екструзії. При цьому налаштування температурних режимів вимагає врахування не тільки виду сировини, що обробляється, але й особливостей конкретного наявного обладнання. На вирішення частини вказаних проблем і були спрямовані дослідження авторів цієї роботи, що складаються із двох взаємопов'язаних частин.

Постановка завдання. Метою проведеної роботи є вивчення особливостей контролю нагрівання в екструзії, розробка автономних модулів терморегулювання для зонної переробки пластичних мас за цим методом, з'ясування домінуючих факторів впливу на прийняття рішення з проектування розробки. Основні до них вимоги: модульний принцип, однотипність; легке переналаштування в залежності від природи вихідної сировини та виду і конструктивних особливостей виготовляемого виробу; задовільний робочий діапазон, високі чутливість і точність підтримки заданого технологічного параметру; мала теплова інерція; надійність; відтворюваність; простота установки, управління, обслуговування; великий ресурс роботи. Розгляд всіх цих питань є виключно важливим з точки зору покращення якості виготовляемої продукції, підвищення ефективності робіт під час проектування та модернізації екструзійного обладнання та удосконалення його технологічних режимів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для практичної реалізації поставленого завдання вивчений накопичений досвід в області переробки високомолекулярних полімерних сполук, фізико-хімічних процесів поведінки і фазових перетворень складних за будовою термопластичних, терморективних, композиційних найбільш вживаних матеріалів; процесів руху та теплообміну нелінійних полімерних середовищ в умовах фазового переходу в каналах екструзійного обладнання; способи і режими технологічних перетворень; особливості проектування, роботи, експлуатації, продуктивності, енергоємності сучасного технологічного обладнання, його інноваційні тенденції розвитку.

Вихідні високополімери представляють собою дуже великий асортимент цінних конструкційних матеріалів. Їх застосування вимагає знання їх властивостей та їхньої змінності залежно від умов переробки та експлуатації.

За даними [8] полімери являють собою складні системи, побудовані з макромолекул, що взаємодіють між собою, а макромолекули складаються з ланок, що повторюються і з'єднані хімічними зв'язками. Міжмолекулярне зчеплення залежить від будови ланцюгів і вмісту в них груп, що заміщають водневі атоми. Взаємодія макромолекул призводить до упо-

рядкованого їхнього розташування (так званої надмолекулярної структури). Особливості поведінки структурних елементів полімерів у тепловому русі зумовлюють їх здатність до релаксації (здатність системи приходити у попередній стійкий стан після зняття збурюючої дії).

Для лінійних полімерів різний розвиток явищ релаксації дозволяє виділити три можливі стани:

1) склоподібний, що відповідає низьким температурам (можливі лише пружні деформації);

2) пружноеластичний, при якому можливі великі деформації, що при знятті напруги поступово зникають;

3) в'язкотекучий, характеризується пластичними деформаціями, що зберігаються після зняття навантаження (залишковими).

Ці стани лінійного полімеру розташовуються між двома температурними зонами: температурою склування та температурою плинності.

Поскілки температури склування і плинності залежать від будови макромолекул полімеру, то полімери, що володіють складним ланцюгом, можуть і не переходити у в'язкотекучий стан, якщо для них температура плинності вище за температуру деструкції (їх термічного хімічного розпаду). Вони виявляються терморективними на відміну термопластичним, здатних переходити кілька разів з одного стану в інший без хімічного руйнування.

Полімери за своїми механічними властивостями відрізняються від інших твердих і квазітвердих тіл (скла) через релаксаційні явища, що сильно проявляються. Закон нормальної пружності Гука до них мало застосовний, тому що відносна деформація залежить від багатьох змінних:

$$\varepsilon = f(T, \sigma, t),$$

де ε – відносна деформація ($\Delta l/l$), T – температура, σ – механічна напруга, t – час. Найбільший вплив має температура, змінюючи стан лінійного полімеру. З узагальненої термомеханічної кривої $\varepsilon = f(T)$ [8] при постійній механічній нарузі σ і часу навантаження t слідує, що залишкові пластичні деформації виникають при температурах вище температури плинності. Також показано, що при високих температурах поблизу температури плинності пружна деформація виникає практично миттєво і зникає також; наростання ж пластичних та пружноеластичних деформацій відбувається в часі.

Особливості контролю нагріву в екструзії. Складність поставленого завдання ще і в тому, що кожна зона нагрівання циліндра екструдера має довжину близько 350-450 мм. На кожній із них можна задати певну температуру, але стандартів для налаштування „правильної температури” не існує. Єдиною умовою є створення на першій та іноді другій зоні значення температури близької до показників, яке має набути розплав на виході. Підбір температури залежить від особливостей полімеру та конструкції шнека. Регулювання нагрівання проводиться в умовах ефективної тепловіддачі для запобігання перегріву. Регулювання проводити непросто. Це пов'язано з неможливістю контролю нагріву розпла-

ву від зсувних зусиль, які розвиваються шнеком, та залежать від швидкості подачі гранул і варіації теплової провідності вздовж циліндра.

Після стабілізації екструзивного процесу полімер розігрівається ще й від внутрішньої сили тертя та зсуву. Інтенсивність виділення тепла залежить від будови шнека, тиску розвиненого в головці та в'язкості полімерного розплаву. На деяких ділянках обладнання температура може перевищувати максимальні значення. У такому разі потрібне охолодження. Кожному екструдеру необхідний свій температурний режим для якісного нагріву. Температурне поле відповідне одному виду обладнання іншим буде недоцільним. Це стосується навіть однотипних установок. Температурне поле циліндра залежить ще й від створюваного тиску в головці екструдера, ступеня зносу шнека і циліндра, навколишніх умов та фізико-хімічних властивостей оброблюваного матеріалу. І підбір «правильного значення» температури циліндра визначається методом проб, враховуючи зміни температури, швидкість обертання шнека та зміну процесів екструзії.

На ділянці, в зонах нагріву, де відбувається гомогенізація полімеру, температура повинна відповідати температурам плавлення полімеру, які вказує виробник в технічній документації. Якщо нормовані температури, зазначені постачальником, не забезпечують якісний процес екструзування, їх доводиться коригувати самостійно.

Практика свідчить, що короткі екструдери (зі співвідношенням L/D від 24:1 до 26:1) мають 3-4 зони нагріву. Більш довгі установки (з співвідношенням L/D 30-32:1) часто мають 5-6 зон нагріву, дуже довгі (з співвідношенням L/D 34:1 і більше) можуть мати до 10 нагрівальних зон. Занижені температури на ділянках циліндра погіршують стабільність та ефективність розплавлення матеріалу, а зайво високі призводять до розкладання полімерів або до проблем в процесі охолодження.

Зрозуміло, для налаштування температурного профілю каналу екструдера контролювати температуру розплаву важко, а зрештою навіть марно. У гвинтовому каналі шнека завжди спостерігається перепад температурних значень. Краще контролювати температуру металевого корпусу циліндра, її й простіше стабілізувати. Контроль нагріву циліндра проводиться за допомогою термодатчиків. Реальний вплив температури металевої поверхні на оброблюваний матеріал опосередкований. Але, в будь-якому випадку необхідно створити стабільний режим обраної температури для обробки наявної композиції. Фактично вимірюється температура поверхні циліндра, тому слід ще й враховувати період стабілізації її реального впливу на розплав.

Екструдери зі шнеками однакової конфігурації, але з різними зонами нагріву вимагають індивідуального підбору температурних режимів. Інтенсивне нагрівання завантажувальної зони шнека може відбуватися через високий рівень стиснення або примусове внесення матеріалу. І навпаки, холодний неуцілюваний матеріал прослизає по стінках вузла завантаження та охолоджує циліндр. Якщо на одній із зон з ко-

роткими інтервалами включається охолодження, екструзування генерує зайве місцеве нагрівання на цій зоні. Тут потрібно відрегулювати температурну подачу нагрівачів або замінити шнек на більш відповідний по конструкції. Іноді слід впливати нижчими температурами, ніж необхідно для розплаву. Причиною цього є сильне нагрівання матеріалу від сил тертя та зсувних зусиль шнека. У такому випадку керування температурою матеріалу залежить від конструкції шнека та гвинтових каналів. Особливо це спостерігається при використанні бар'єрного шнека.

Для визначення теплового потоку в неусталених процесах найчастіше використовують методи, засновані на вимірі тієї чи іншої величини, що має малу інерційність. Температура тіла (стілки циліндра екструдера) у цьому випадку виявляється найбільш підходящим для вимірювання параметром. Для вимірювання температури поверхні циліндра у запропонованому варіанті використані хромель-алюмелеві термопари. Якщо датчик розглядати як напівобмежене тіло, то залежність теплового потоку, що віддається полімерному екструдату, від зміни температури поверхні виявляється однозначною функцією.

Сучасні виробничі агрегати характеризуються високою апаратною осначеністю, і найчастіше робота на них або проводиться з використанням елементів автоматизації, або повністю автоматизована. Ступінь їх автоматизації багато в чому залежить від цілей та завдань, які ставить перед собою виробник; від об'єму, серійності, специфічності виробництва; наявності відповідного устаткування; ступеня професіоналізму персоналу, що бере участь у його роботі; наявності належної технічної документації. При проведенні досить простих технологічних операцій витрати часу і коштів на повну автоматизацію можуть значно перевищити такі витрати на проведення їх звичайним шляхом або із застосуванням часткової автоматизації. Тому при оцінці доцільності та ступеня автоматизації необхідно враховувати такі фактори, як можливість проведення операцій без засобів автоматизації, розширення можливостей існуючого обладнання, покращення експлуатаційних показників установок.

Проведений докладний попередній аналіз особливостей екструзійної технології переробки пластмас і роботи технічних засобів її відтворення, з'ясування основних закономірностей процесів руху, теплообміну та плавлення полімерів у гвинтових каналах пластикуючих екструдерів, виявлення функціональних зон оброблення, ступінь впливу різних факторів на температуру стінки циліндра та розплаву полімеру вибудовують комплекс вимог до основ розробки складових компонентів апаратного забезпечення. В розділі постановки завдання дослідження сформульовані основні вимоги до засобів зонованого нагрівання для підтримки заданих робочих технологічних режимів. Опис структури, функціонування, робочих характеристик розробленого модульного варіанту такого спеціалізованого пристрою і приводиться нижче.

Розробка пристрою для налаштування температурного профілю екструзійного каналу пере-

робки пластичних мас. Запропоновано простий варіант пристрою керування для встановлення та регулювання профілю теплового зонованого поля екструзійного каналу переробки пластмас в залежності від виду вихідної сировини; вибору режимів для створення умов стабілізації ефективного проведення технологічного процесу й одержання заданої якості екструдата; конструкційних особливостей виготовляємої продукції; можливостей й досконалості основного і допоміжного оснащення, продуктивності його роботи.

В силу індивідуальності та малої повторюваності налаштувань режимів екструзійних агрегатів в основу положений автономний принцип побудови. Вхідний сигнал датчика в кожній робочій зоні вибирається виходячи з температурного діапазону з таблиці тарування хромель-алюмелевої термопари [9] відповідно до температурного профілю циліндра екструдера для конкретного виробництва. Функціо-

нування засобу добре узгоджується з імпульсно-цикловим мікропроцесорним керуванням робочими зонами тепломасообміну.

Робота пристрою (рис. 3) базується на фазовому методі керування потужністю, що підводиться до електричних нагрівників опору у відповідних технологічних зонах екструзійного циліндру. Він складається із датчика температури, первинного перетворювача (датчика температури - хромель-алюмелевої термопари, ТХА), вузла віднімання (ВВ) на основі диференціального операційного підсилювача, порогового пристрою (тригера Шмітта, ТШ), генератора з лінійним законом зміни напруги (ГЛЗН) для синхронізування роботи пристрою з частотою напруги живлення, блокінг-генератора (БГ), силового блока, схеми індикації режимів роботи пристрою, схеми індикації пориву кола термоперетворювача, параметричного стабілізатора двополярної напруги живлення.

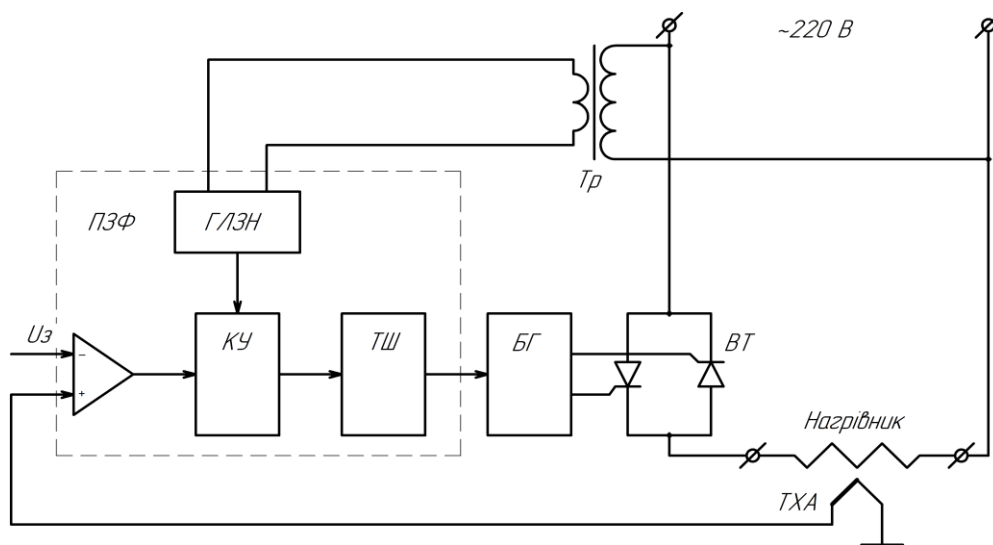


Рис. 3. Структурна схема автономного модуля терморегулювання для зонної переробки пластичних мас екструзією

Напруга датчика температури з прецизійного опорного джерела подається на інвертуючий вхід вузла віднімання.

Опорні значення технологічного параметру у кожній контрольній каналній точці агрегату задаються напругою, значення якої визначається стандартними даними градуовальної таблиці залежності термоЕРС від температури хромель-алюмелевої термопари (тип К) [9] та коригуються оптимізованими значеннями за результатами оцінювання попередніх тестових випробувань конкретного екструдера. На його неінвертуючий вхід приєднана хромель-алюмелева термопара, яка введена у ланцюг головного контуру негативного зворотного зв'язку системи регулювання. Вибір її типу зумовлений природною практично лінійною залежністю ЕРС від температури, яка характерна для електродів із хромель-алюмелевих сплавів. „Гарячий” спай термопари розташовується біля нагрівника й ізолюється тонким шаром термостійкого діелектрика. Різниця напруг датчика і термопари є сигналом похибки. На вході каскаду узгодження сигнал похибки складається з напругою формувача лінійно змінної напруги.

При умові:

$$U_{\text{вих.ВВ}} + U_{\text{вих.ГЛЗН}} \geq U_{\text{верх.нор.}}$$

на виході тригера Шмітта утворюються прямокутні імпульси, задній фронт яких „фіксований” і співпадає з кінцем робочого півперіоду напруги живлення в мережі, а передній фронт „зміщується” при зміні сигналу похибки в системі відслідковування терморегулюючого пристрою. Прямокутні імпульси, що формуються тригером Шмітта, керують роботою блокінг-генератора, на виході якого з'являються серії імпульсів загальною шириною, що відповідають тривалості прямокутних імпульсів. Блокінг-генератор застосовується для гальванічного розв'язування кола керування з силовою частиною регулюючого пристрою за допомогою імпульсного трансформатора. Імпульси зі вторинної обмотки трансформатора блокінг-генератора керують фазою відкриття силового тиристорного вентиля, здійснюючи таким чином пропорційне керування середньою потужністю нагрівача. Подача енергії в об'єкт здійснюється до тих пір, поки температура в ньому не досягне заданого значення. При цьому напруга на виході диференційного підсилювача наближається до нуля, і силовий вентиль закривається (призакривається).

Система повільно проходить через низку послідовних квазіблизьких станів, відтворюючи задану величину технологічного параметру у зоні нагрівання. Пристрій з таким лінійним додатковим ланцюгом негативного зворотного зв'язку виявляє слабку залежність від нестабільності вихідних компонентів і при великій глибині негативного зворотного зв'язку за потужністю забезпечує не тільки високу лінійність коефіцієнта передачі, але й слабку залежність вихідної потужності від коливань напруги живлення.

Перевагою даного способу при технічній його реалізації у системі керування нагрівниками у функціонально-технологічних зонах за відхиленням температурного параметра при вирішенні поставленої задачі - є використання у системі датчика параметра й лінійного негативного зворотного зв'язку природної лінійної залежності термо-ЕРС хромель-алюмелевих сплавів від різниці температури їх гарячого і холодного спайів, яка сьогодні не використовується в жодному подібному аналітичному засобі. Спосіб запатентований авторами [10]. Він являє інтерес за схемним і конструкційним шляхами вирішення проблеми формування закону регулювання температури об'єкта - простий, з високою чутливістю і хорошою розрізняльною здатністю. Реалізується на сучасних комплектуючих елементах, які серійно виготовляються, і може бути запропонований для використання при вирішенні аналогічних задач.

Слід зауважити, що визначаючи параметри екструзійного потоку непрямими методами, необхідно враховувати додаткові похибки, не пов'язані з помилками вимірюваних величин. Додаткові похибки зумовлюються припущеннями та спрощеннями, які приймаються при емпіричному розгляді процесів руху і теплообміну неньютоновських середовищ при формуванні виробів із полімерних матеріалів.

Висновки

Розроблено пристрій керування для встановлення та регулювання профілю теплового зонованого поля екструзійного каналу переробки пластмас в залежності від виду вихідної сировини; вибору режимів для створення умов стабілізації ефективного проведення технологічного процесу й одержання заданої якості екструдата; конструкційних особливостей виготовляємої продукції; можливостей й досконалості основного і допоміжного оснащення, продуктивності його роботи; ступеню підготовленості обслуговуючого персоналу до забезпечення виробництва. Згідно стандарту ІЕС 60584 1:2013 в якості опорних аналітичних сигналів в розробці використані відповідні стандартні значення різниці потенціалів типових градувальних таблиць термопар ТХА (тип К). Корегування середньої теплової потужності, що підводиться нагрівниками в окремих функціонально-технологічних зонах, здійснюється фазовим методом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook / Harold F. Giles Jr, John R. Wagner Jr., Eldridge M. Mount III // William Andrew, 2013 – 636 p.
2. Chan C. M. et al. Polypropylene/calcium carbonate nanocomposites //polymer. – 2002. – Т. 43. – №. 10. – 2981-2992 p.
3. Опис методу екструзії пластичних мас [Електронний ресурс]. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: <https://etp.com.ua/ua/articles/news-101>.
4. Плешко О.В. Ресурсо-енергоощадний каскадний екструдер для переробки полімерних матеріалів / Плешко О.В., Швед М.П., Швед Д.М. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса. – 2013. Вип. 43, Т. 1 – С. 118-120.
5. Extruder Processing / Gregory A. Campbell, Paul G. Andersen // 2022, ISBN: 9781569908631 – 220 p.
6. Advanced Thermoforming: Methods, Machines and Materials, Applications and Automation / Sven Engelmann // John Wiley & Sons, 2012 – 352 p.
7. Thermoforming: A Plastics Processing Guide, Second Edition / Geza Gruenwald // Routledge, 2018 - 256 p.
8. Robust Process Development and Scientific Molding: Theory and Practice / Suhas Kulkarni // Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG. 2017 - 390 p.
9. International Standard IEC 60584-1:2013 Thermocouples - Part 1: EMF specifications and tolerances. ICS 17.200.20 - Temperature-measuring instruments. ISBN 978-2-8322-1047-5
10. Пат. 43549 Україна. МПК G 05 D 23/00. Спосіб програмного формування лінійного закону зміни температури нагрівника / О.Г. Дрючко, Д.О. Стороженко, Н.В. Буняка, І.О. Іваницька – у 2009 01783; Заявлено 02.03.2009; Опубл. 25.08.2009, Бюл. №16. – 10 с.

Received (Надійшла) 20.07.2023

Accepted for publication (Прийнята до друку) 13.09.2023

Development of thermo-regulation modules for zone processing of plastic materials by extrusion

O. Dryuchko, O. Schefer, B. Boriak, N. Borozdin, V. Galai, R. Zakharchenko

Abstract. A control device has been developed for setting and correcting the profile of the thermal zoned field of the extrusion channel of processing plastic masses depending on the type of raw material; selection of modes to create conditions for stabilizing the effective implementation of the technological process and obtaining the specified quality of the extrudate; structural features of manufactured products; possibilities and perfection of the main and auxiliary equipment, productivity of its work; degree of preparedness of service personnel to ensure production. According to IEC 60584 1:2013, standard potential difference values of typical TXA thermocouple graduation tables (type K) were used as reference analytical signals in the development. Correction of the average thermal power supplied by heaters in certain functional technological zones is carried out by the phase method.

Keywords: plastics processing, extrusion method, thermal extrusion channel profile, control systems, design features.