

УДК 675.023

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ ТРУБ
ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПЛАНУВАННЯ
БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ**

Лісовець С. М., Кузьмович К. І.

Київський національний університет технологій та дизайну

Розглянуто математичну модель процесу виробництва полімерних труб методом екструзії шляхом підготовки розплаву в екструдері і надання екструдату тієї чи іншої форми. Математична модель дозволяє поліпшити якісні показники при виробництві полімерних труб шляхом підбору відповідних вагових множників і коефіцієнтів цільової функції.

Ключові слова: екструдер, полімерний матеріал, цільова функція, показники якості, вагові множники, коефіцієнти цільової функції, математична модель

Тенденції розвитку економіки України спрямовані на те, щоб виробництво було більш ефективним і менш енерговитратним. Одним з напрямів такого переходу є зменшення частки виробів, що виготовляються з металу, і перехід на більш дешеву сировину і технології, які пов'язані з переробкою цієї сировини. Що стосується частини промисловості, яка виготовляє труби для різних областей застосування, то останні кілька десятиріч чітко простежується тенденція переходу з труб повністю металевих (сталевих або чавунних) на труби, частково або повністю виготовлені з полімерів. Так як полімери відрізняються великою різноманітністю властивостей, а також вартістю сировини, складністю і термінами виготовлення і так далі, то в цій області постійно йде розвиток в напрямку збільшення співвідношення якості/ціна [1, 2].

Навіть поверхневий аналіз даної проблеми показує, що практично для будь-якого з параметрів, які характеризують якість виготовлення труб, полімерні труби мають перевагу перед трубами металевими. Звичайно, існують області застосування, де полімерні труби «програють» трубам, зробленим з металу. Це і високі температури, і високі тиски, і необхідний час напрацювання на відмову в відповідальних, наприклад, військових, областях застосування. Однак в таких областях, як системи каналізації, системи зрошення на полях, дренажні системи для відведення води, осушувальні системи, системи подачі гарячої та холодної води в житлові будинки і виробничі будівлі полімерні труби мають явну перевагу [3, 4].

Постановка завдання

Технологічний процес виготовлення полімерних труб є досить складним [5]. Однак в ньому можна виділити наступні дев'ять технологічних операцій. Кожну технологічну операцію з точки зору якості її виконання можна охарактеризувати у вигляді одного або декількох коефіцієнтів, збільшення кожного з яких призводить до підвищення якості та навпаки: подача полімерної сировини (коефіцієнт $k_{\text{ПОД}}$), стабілізація швидкості обертання шнека екструдера (коефіцієнт $k_{\text{ШН}}$), стабілізація температури по зонах нагріву по довжині екструдера (коефіцієнт $k_{\text{ТЕМП}}$), стабілізація тиску на виході екструдера (коефіцієнт $k_{\text{ТИСК}}$), калібрування труб по діаметру (коефіцієнт $k_{\text{КАЛІБР}}$), охолодження труб (коефіцієнт $k_{\text{ОХОЛ}}$), витягування труб (коефіцієнт $k_{\text{ВИТ}}$), нарізування труб по довжині (коефіцієнт $k_{\text{НАРІЗ}}$), складування труб (коефіцієнт $k_{\text{СКЛАД}}$). Необхідно враховувати ту обставину, що різні коефіцієнти мають різну чутливість і різні вагові значення. Наприклад, коефіцієнт $k_{\text{ТЕМП}}$, який враховує стабільність температури по зонах нагріву по довжині екструдера, має в кілька раз більше вагове значення, ніж коефіцієнт $k_{\text{СКЛАД}}$, який впливає на якість складування труб. А коефіцієнт подачі полімерної сировини $k_{\text{ПОД}}$, який враховує якість самої полімерної сировини, є більш складним для розрахунку і вимірювання, ніж коефіцієнт $k_{\text{НАРІЗ}}$, який враховує нарізування труб по довжині.

Крім вхідних показників, які задають технологію виготовлення полімерних труб, є ще й збурюючі показники. Від збурюючих показників принципово неможливо позбутися, так як технологічний процес виготовлення полімерних труб залежить не тільки від безпосередньо виробника устаткування і від роботи обслуговуючого персоналу, а й від якості застосовуваної сировини або деяких її компонентів, напруги живлення в електричній мережі, якості охолоджуючої води і так далі. Вплив деяких збурюючих показників можна істотно послабити. Наприклад, вплив напруги живлення в електричній мережі можна істотно послабити застосуванням стабілізаторів, а якість води, що охолоджує, можна поліпшити, застосовуючи фільтри.

В якості збурюючих показників, кожний з яких характеризується своїм коефіцієнтом, можна виділити наступні показники: якість сировини (коефіцієнт $f_{\text{СИР}}$),

напруга живлення в електричній мережі (коефіцієнт $f_{\text{НАПР}}$), якість води, що охолоджує (коефіцієнт $f_{\text{ВОД}}$), обслуговуючий персонал (коефіцієнт $f_{\text{ПЕРС}}$).

Для того, щоб охарактеризувати якість одержуваного продукту, тобто труб, можна використовувати кілька вихідних показників. Це може бути міцність труб на розрив, вигин або кручення, довговічність при певних умовах навколишнього середовища, відповідність заданими геометричним розмірам і так далі. Однак бажано використовувати замість безлічі вихідних показників один вихідний показник (цільову функцію). Представимо цільову функцію як F , нехай вона залежить від усіх перерахованих вище вхідних і збурюючих показників.

Модель технологічного процесу виготовлення полімерних труб з вихідною цільовою функцією може бути графічно представлена на рис. 1.

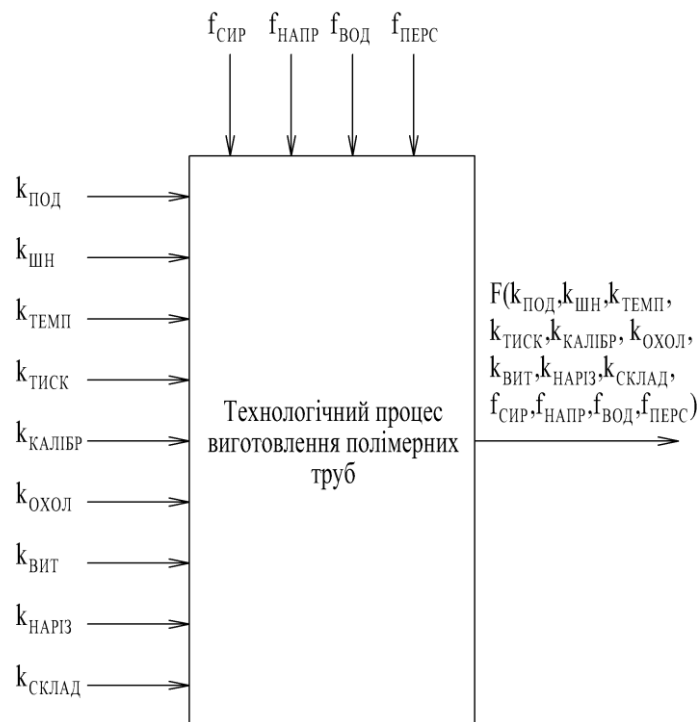


Рис. 1. Модель технологічного процесу виготовлення полімерних труб

Розробка цільової функції в процесі досліджень є непростим завданням. Тому отримання цільової функції можна проводити в декілька етапів: на першому етапі передбачається, що між вхідними коефіцієнтами математичної моделі немає взаємного впливу (для такої моделі цільова функція F буде лінійно залежати від комбінації всіх коефіцієнтів); на другому етапі передбачається ввести в модель впливаючі коефіцієнти, теж в лінійному поєднанні; на третьому етапі передбачається дослідити вплив

параметрів моделі один на одного і ввести в модель залежність одних коефіцієнтів від інших, що буде виражатися у введенні в модель добутку цих коефіцієнтів (модель в цьому випадку стає нелінійною).

Необхідно пам'ятати, що на всіх трьох етапах розробки моделі модель повинна бути «нормованою». Це означає, що при будь-якому поєднанні коефіцієнтів моделі цільова функція F , про що йшлося вище, повинна бути представлена, наприклад, у вигляді балів десятибальної системи, тобто приймати значення тільки від 0 до 10.

Результати досліджень

Етап перший. Припустимо, що всі коефіцієнти моделі $k_{\text{ПОД}}$, $k_{\text{ШН}}$, $k_{\text{ТЕМП}}$, $k_{\text{ТИСК}}$, $k_{\text{КАЛБР}}$, $k_{\text{ОХОЛ}}$, $k_{\text{ВИТ}}$, $k_{\text{НАРІЗ}}$ і $k_{\text{СКЛАД}}$, які характеризують відповідні їм вхідні показники, можуть змінюватися від 0 до 1. Так як кожний з коефіцієнтів може надавати різний вплив, то відповідно для кожного з них необхідно ввести вагові множники $\alpha_{\text{ПОД}}$, $\alpha_{\text{ШН}}$, $\alpha_{\text{ТЕМП}}$, $\alpha_{\text{ТИСК}}$, $\alpha_{\text{КАЛБР}}$, $\alpha_{\text{ОХОЛ}}$, $\alpha_{\text{ВИТ}}$, $\alpha_{\text{НАРІЗ}}$ і $\alpha_{\text{СКЛАД}}$. Крім цього, для виконання нормування цільової функції F необхідно ввести загальний нормуючий коефіцієнт K .

Після виконання всіх перерахованих перетворень цільова функція F прийме вигляд:

$$F = K(\alpha_{\text{ПОД}} \cdot k_{\text{ПОД}} + \alpha_{\text{ШН}} \cdot k_{\text{ШН}} + \alpha_{\text{ТЕМП}} \cdot k_{\text{ТЕМП}} + \alpha_{\text{ТИСК}} \cdot k_{\text{ТИСК}} + \alpha_{\text{КАЛБР}} \cdot k_{\text{КАЛБР}} + \alpha_{\text{ОХОЛ}} \cdot k_{\text{ОХОЛ}} + \alpha_{\text{ВИТ}} \cdot k_{\text{ВИТ}} + \alpha_{\text{НАРІЗ}} \cdot k_{\text{НАРІЗ}} + \alpha_{\text{СКЛАД}} \cdot k_{\text{СКЛАД}}) \quad (1)$$

Етап другий. Розроблена на першому етапі цільова функція F не є повною. Основний недолік такої цільової функції – відсутність в ній показників, які негативно впливають на технологічний процес і які знижують якість продукту, що випускається. До таких показників відносяться $f_{\text{СИР}}$, $f_{\text{НАПР}}$, $f_{\text{ВОД}}$, $f_{\text{ПЕРС}}$. Вони також можуть змінюватися від 0 до 1. Для оцінки їх впливу необхідно ввести відповідні їм вагові множники $\beta_{\text{СИР}}$, $\beta_{\text{НАПР}}$, $\beta_{\text{ВОД}}$, $\beta_{\text{ПЕРС}}$. Необхідно зауважити, що ці показники будуть входити в цільову функцію F зі знаком мінус. Після виконання всіх перерахованих перетворень цільова функція F прийме вигляд:

$$F = K(\alpha_{\text{ПОД}} \cdot k_{\text{ПОД}} + \alpha_{\text{ШН}} \cdot k_{\text{ШН}} + \alpha_{\text{ТЕМП}} \cdot k_{\text{ТЕМП}} + \alpha_{\text{ТИСК}} \cdot k_{\text{ТИСК}} + \alpha_{\text{КАЛБР}} \cdot k_{\text{КАЛБР}} + \alpha_{\text{ОХОЛ}} \cdot k_{\text{ОХОЛ}} + \alpha_{\text{ВИТ}} \cdot k_{\text{ВИТ}} + \alpha_{\text{НАРІЗ}} \cdot k_{\text{НАРІЗ}} + \alpha_{\text{СКЛАД}} \cdot k_{\text{СКЛАД}} - \beta_{\text{СИР}} \cdot f_{\text{СИР}} - \beta_{\text{НАПР}} \cdot f_{\text{НАПР}} - \beta_{\text{ВОД}} \cdot f_{\text{ВОД}} - \beta_{\text{ПЕРС}} \cdot f_{\text{ПЕРС}}) \quad (2)$$

Етап третій. Функція, отримана на другому етапі, є більш повною, ніж функція, отримана на першому етапі. Однак в ній також є деяка невідповідність реальній моделі – це взаємний вплив показників моделі один на одного. Деякі показники моделі один на одного впливають сильно, деякі – слабше, деякі – практично не впливають. Із взаємним впливом показників моделі один на одного необхідно розібратися більш детально. Також необхідно розглянути окремо вплив один на одного як вхідних, так і збурюючих показників.

Коефіцієнти $k_{\text{ШН}}$, $k_{\text{ТЕМП}}$ і $k_{\text{ТИСК}}$ мають взаємний вплив. Для оцінки взаємного впливу трьох перерахованих коефіцієнтів необхідно ввести вагові множники. Для оцінки взаємного впливу $k_{\text{ШН}}$ і $k_{\text{ТЕМП}}$ введемо ваговий множник $\gamma_{\text{ШН-ТЕМП}}$. Тоді в цільовій функції F ця складова буде виглядати як $\gamma_{\text{ШН-ТЕМП}} k_{\text{ШН}} k_{\text{ТЕМП}}$. Для оцінки взаємного впливу $k_{\text{ТЕМП}}$ і $k_{\text{ТИСК}}$ введемо також ваговий множник $\gamma_{\text{ТЕМП-ТИСК}}$. Тоді в цільовій функції F ця складова буде виглядати як $\gamma_{\text{ТЕМП-ТИСК}} k_{\text{ТЕМП}} k_{\text{ТИСК}}$. Для оцінки взаємного впливу $k_{\text{ШН}}$ і $k_{\text{ТИСК}}$ аналогічно введемо ваговий множник $\gamma_{\text{ШН-ТИСК}}$. Тоді в цільовій функції F ця складова буде виглядати як $\gamma_{\text{ШН-ТИСК}} k_{\text{ШН}} k_{\text{ТИСК}}$.

Коефіцієнти $k_{\text{КАЛБР}}$ і $k_{\text{ОХОЛ}}$ також мають взаємний вплив. Для оцінки взаємного впливу двох перерахованих коефіцієнтів $k_{\text{КАЛБР}}$ і $k_{\text{ОХОЛ}}$ необхідно ввести ваговий множник. Введемо ваговий множник $\gamma_{\text{КАЛБР-ОХОЛ}}$. Тоді в цільовій функції F ця складова буде виглядати як $\gamma_{\text{КАЛБР-ОХОЛ}} k_{\text{КАЛБР}} k_{\text{ОХОЛ}}$.

Після виконання всіх перерахованих вище операцій отримаємо, що цільова функція F прийме вигляд:

$$F = K(\alpha_{\text{ПОД}} \cdot k_{\text{ПОД}} + \alpha_{\text{ШН}} \cdot k_{\text{ШН}} + \alpha_{\text{ТЕМП}} \cdot k_{\text{ТЕМП}} + \alpha_{\text{ТИСК}} \cdot k_{\text{ТИСК}} + \alpha_{\text{КАЛБР}} \cdot k_{\text{КАЛБР}} + \alpha_{\text{ОХОЛ}} \cdot k_{\text{ОХОЛ}} + \alpha_{\text{ВИТ}} \cdot k_{\text{ВИТ}} + \alpha_{\text{НАРІЗ}} \cdot k_{\text{НАРІЗ}} + \alpha_{\text{СКЛАД}} \cdot k_{\text{СКЛАД}} - \beta_{\text{СИР}} \cdot f_{\text{СИР}} - \beta_{\text{НАПР}} \cdot f_{\text{НАПР}} - \beta_{\text{ВОД}} \cdot f_{\text{ВОД}} - \beta_{\text{ПЕРС}} \cdot f_{\text{ПЕРС}} + \gamma_{\text{ШН-ТЕМП}} k_{\text{ШН}} k_{\text{ТЕМП}} + \gamma_{\text{ТЕМП-ТИСК}} k_{\text{ТЕМП}} k_{\text{ТИСК}} + \gamma_{\text{ШН-ТИСК}} k_{\text{ШН}} k_{\text{ТИСК}} + \gamma_{\text{КАЛБР-ОХОЛ}} k_{\text{КАЛБР}} k_{\text{ОХОЛ}}). \quad (3)$$

Після виконання досліджень було отримано наступні значення вагових коефіцієнтів для найбільш повної цільової функції F : $\alpha_{\text{ПОД}} = 3,44$, $\alpha_{\text{ШН}} = 4,58$, $\alpha_{\text{ТЕМП}} = 7,05$, $\alpha_{\text{ТИСК}} = 4,07$, $\alpha_{\text{КАЛБР}} = 1,90$, $\alpha_{\text{ОХОЛ}} = 2,32$, $\alpha_{\text{ВИТ}} = 2,40$, $\alpha_{\text{НАРІЗ}} = 1,18$,

$\alpha_{\text{СКЛАД}} = 1,20$, $\beta_{\text{СИР}} = 8,29$, $\beta_{\text{НАПР}} = 5,34$, $\beta_{\text{ВОД}} = 4,05$, $\beta_{\text{ПЕРС}} = 9,07$, $\gamma_{\text{ШН-ТЕМП}} = 1,00$,
 $\gamma_{\text{ТЕМП-ТИСК}} = 1,00$, $\gamma_{\text{ШН-ТИСК}} = 1,00$, $\gamma_{\text{КАЛИБР-ОХОЛ}} = 1,00$. А також значення вагового
коефіцієнта $K = 1,855$. Таким чином, цільова функція F прийняла наступний вигляд:

$$F = 1,855(3,44 k_{\text{ПОД}} + 4,58 k_{\text{ШН}} + 7,05 k_{\text{ТЕМП}} + 4,07 k_{\text{ТИСК}} + 1,90 k_{\text{КАЛИБР}} + 2,32 k_{\text{ОХОЛ}} + \\ + 2,40 k_{\text{ВИТ}} + 1,18 k_{\text{НАРІЗ}} + 1,20 k_{\text{СКЛАД}} - 8,29 f_{\text{СИР}} - 5,34 f_{\text{НАПР}} - 4,05 f_{\text{ВОД}} - 9,07 f_{\text{ПЕРС}} + \\ + k_{\text{ШН}} k_{\text{ТЕМП}} + k_{\text{ТЕМП}} k_{\text{ТИСК}} + k_{\text{ШН}} k_{\text{ТИСК}} + k_{\text{КАЛИБР}} k_{\text{ОХОЛ}}). \quad (4)$$

Моделювання якості необхідно виконувати не для всіх коефіцієнтів цільової функції, а, зазвичай, для тих, які вносять найбільший вплив. Моделювання якості виконується наступним чином. Спочатку фіксують значення всіх коефіцієнтів цільової функції крім одного, який буде змінюватися, на тих значеннях, які відповідають оптимальним або близьким до оптимальних параметрам налагодження технологічного процесу. Шляхом зміни цього одного коефіцієнта цільової функції домагаються отримання максимального значення цільової функції. Аналогічну операцію проводять з іншими коефіцієнтами цільової функції. За результатами моделювання приймають рішення про зміну налагоджень параметрів технологічного процесу.

Висновки

Розглянуто побудову математичної моделі на основі методу планування багатофакторного експерименту, яка дозволяє підвищити якість виготовлення полімерних труб шляхом пошуку оптимальних параметрів налагодження технологічного процесу виготовлення цих труб.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ Б В.2.7-151:2008 Труби поліетиленові для подачі холодної води.
2. ДСТУ Б В.2.7-73-98 Труби поліетиленові для подачі горючих газів. Технічні умови.
3. Володин В. П. Экструзия пластмассовых труб и профилей [Текст] / В. П. Володин (Библиотечка переработчика пластмасс). – СПб. : ЦОП «Профессия», 2010. – 256 с., ил., табл., сх. – ISBN 978-5-91884-002-3.
4. Володин В. П. Экструзия профильных изделий из термопластов [Текст] / В. П. Володин. – СПб. : ЦОП «Профессия», 2005. – 480 с. – ISBN 5-93913-076-3.
5. Раувендааль К. Выявление и устранение проблем в экструзии; пер. с англ. под

ред. В. П. Володина [Текст] / К. Раувендааль, М. Пилар Норьєга, Х. Харрис. – СПб. : ЦОП «Профессия», 2008. – 328 с. – ISBN 978-5-93913-154-4.

Повышение качества изготовления полимерных труб путём применения метода планирования многофакторного эксперимента

Лисовец С. Н., Кузьмович К. И.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Рассмотрено математическую модель процесса производства полимерных труб методом экструзии путём подготовки расплава в экструдере и придания экструдату той или иной формы. Математическая модель позволяет улучшить качественные показатели при производстве полимерных труб путём подбора соответствующих весовых множителей и коэффициентов целевой функции.

Ключевые слова: *экструдер, полимерный материал, целевая функция, показатели качества, весовые множители, коэффициенты целевой функции, математическая модель*

Increasing the production of plastic pipe quality by applying the method of multifactor experiment planning

Lisovets S. N., Kuzmovich K. I.

Kyiv national university of technologies and design

A mathematical model of the process of production of plastic pipes extrusion method by preparing a melt in an extruder and giving extrudate one form or another. The mathematical model can improve the quality parameters in the production of plastic pipes by selecting appropriate weighting factors and the coefficients of the objective function.

Keywords: *extruder, polymeric material, objective function, quality indicators, weightings, coefficients of objective function, mathematical model*