

УДК 678.057

СІВЕЦЬКИЙ В. І., МАЛЬЧЕВСЬКИЙ О. Т.*
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЕКСТРУЗІЙНІ АГРЕГАТИ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СУМІШЕЙ

Досліджено існуючі конструкції черв'ячних екструдерів, які спеціалізуються на переробці двох і більше компонентних сумішей в різних галузях промисловості. Наведено аналіз конструкцій кожного із розглянутих прототипів черв'ячних екструдерів для переробки багатокомпонентних сумішей. Представлено критичну оцінку кожної із наведених конструкцій із зазначеними перевагами та недоліками. Беручи до уваги ключові переваги кожного із розглянутих прототипів, було надано рекомендації щодо найбільш оптимальної конструкції черв'ячного екструдера для переробки композиційних матеріалів.

Ключові слова: черв'ячний екструдер, композиційні матеріали, суміші, змішування, конструкції, полімерні композиції, екструзія

DOI: 10.20535/2617-9741.3.2024.312419

*Corresponding author: hardmetal1876@gmail.com

Received 20 August 2024; Accepted 05 September 2024

Постановка проблеми. Не дивлячись на свою більш як сторічну історію, черв'ячні екструдери до сих пір залишаються одним з найбільш розповсюджених видів обладнання, що застосовується в галузях переробки термопластичних полімерних матеріалів і композицій на їх основі [1-4].

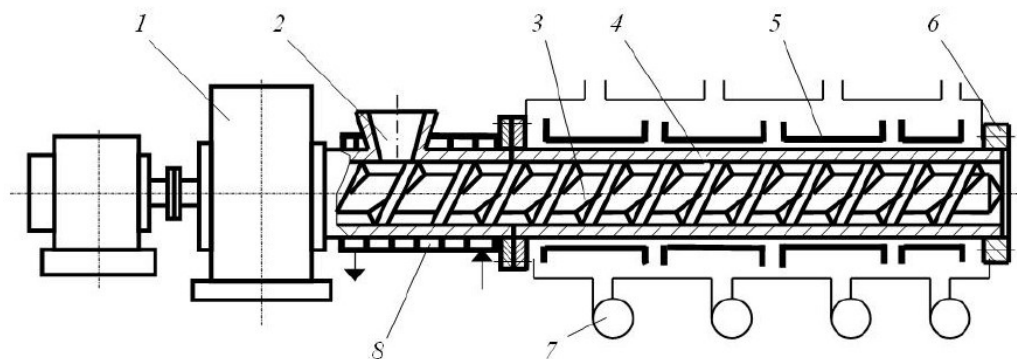
Однак при переробці багатокомпонентних полімерних композицій, слід брати до уваги той факт, що хімічні та теплофізичні властивості (густина, в'язкість, теплостійкість тощо) додаткових компонентів суміші можуть відрізнятися від властивостей основного полімерного матеріалу, в даному випадку, переробляти основний і додаткові компоненти полімерної суміші за однакових умов неможна. Дане питання потребує аналізу новітніх конструкцій для можливості їх застосування у виробництві.

Зазначене питання вже було порушене авторами [5], проте далі наведено більш ґрунтовний аналіз розроблених конструкцій черв'ячних екструдерів для переробки багатокомпонентної полімерної суміші шляхом індивідуальної переробки кожного компонента суміші з подальшим їх змішуванням.

Метою статті є розгорнутий аналіз існуючих конструкцій черв'ячних екструдерів, призначених для реалізації процесів приготування полімерних композицій та виробів з них.

Аналіз попередніх досліджень. Як уже було зазначено, черв'ячні екструдери є одним із найпоширеніших типів технологічного обладнання, що використовуються в промисловості виробництва та переробки полімерів [6, 7]. Найбільшу популярність здобули одночерв'ячні екструдери (рис. 1).

Переваги одночерв'ячних екструдерів – відносно простота конструкції, стале змішування, безперервність процесу, можливість виготовлення виробів будь-якої довжини, об'єднання багатьох функцій в одній машині (плавлення, змішування, формування), а також введення додаткових компонентів.



1 – привід; 2 – завантажувальна горловина; 3 – черв'як; 4 – корпус; 5 – нагрівники; 6 – фланцеве з'єднання;
7 – охолоджувальні вентилятори; 8 – охолоджувальні канали

Рис. 1 – Принципова схема одночерв'ячного екструдера

Існує також велике різноманіття конструкцій черв'ячних екструдерів, а також технологічні лінії з їх використанням, призначені для переробки багатокомпонентної полімерної суміші.

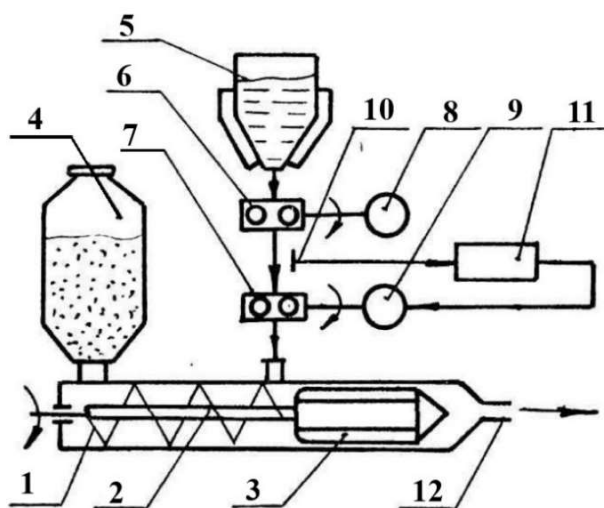
Таким чином, в даному огляді розглядаються модернізації, основною метою яких є підвищення якості кінцевої суміші полімерної композиції в черв'ячних екструдерах з індивідуальною переробкою кожного компонента суміші з подальшим їх змішуванням у робочій зоні екструдера.

Нижче наведено принципову (концептуальну) схему переробки полімерної суміші (рис. 2).



Рис. 2 – Принципова схема переробки полімерної суміші

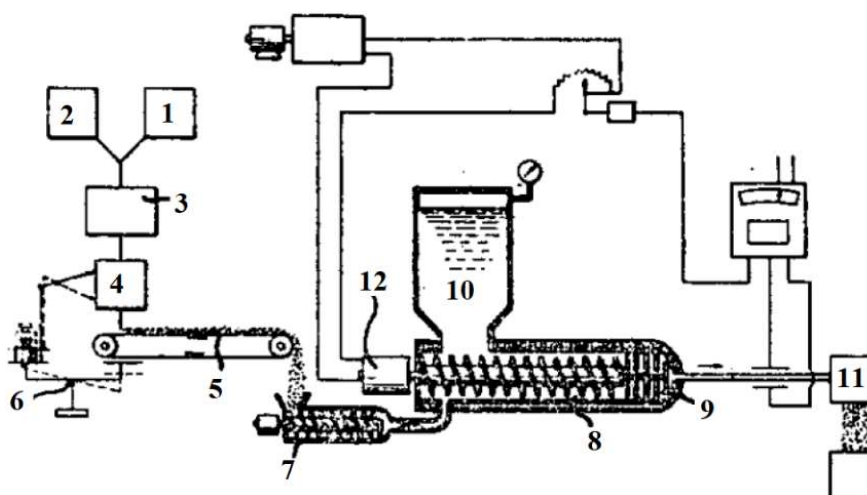
Конструкція для отримання суміші розплаву полімеру і добавки, що описано в пат. № UA13041C1 (рис. 3), містить джерело розплаву полімеру, змішувач, з'єднаний з вузлом введення добавок, що містить джерело розплаву добавок, дозуючий та нагнітальний шестеренні насоси з приводами, що розташовані один за одним, та систему регулювання частоти обертання приводу нагнітального насоса з датчиком контролю тиску на виході з дозуючого насоса.



1 – змішувач; 2 – черв'як; 3 – змішувальний елемент; 4 – бункер для полімеру; 5 – бункер для добавки;
6 – дозуючий насос; 7 – нагнітальний насос; 8,9 – регулятори приводів дозуючого та нагнітального насосів відповідно; 10 – датчик тиску; 11 – система регулювання частоти обертання; 12 – вихідний отвір екструдера

Рис. 3 – Конструкція для отримання суміші розплаву полімеру і добавки (пат. № UA13041C1)

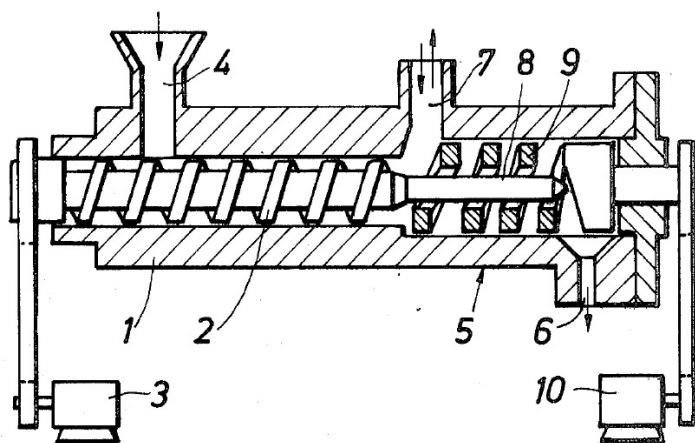
Ще одну конструкцію для безперервного контрольованого змішування плавленого полімеру з одним або кількома модифікуючими агентами наведено у пат. № GB674716A (рис. 4). Конструкція в зазначеному патенті містить два резервуари (для тонкодисперсного полімеру та для модифікуючого агента), змішувач для утворення концентрату з цих двох компонентів, віброживильник, що подає з постійною швидкістю утворений концентрат на стрічковий конвеєр, що оснащений зважувальними вагами, після якого концентрат потрапляє у екструдер для попереднього змішування та розплавлення концентрату, з якого концентрат подається в екструдер для змішування концентрату з основним полімерним розплавом, який знаходиться у відповідному резервуарі, усі компоненти змішуються до однорідної суміші в змішувальній головці, після чого готовий матеріал екструдується до різача.



*1 – резервуар для тонкодисперсного полімеру; 2 – резервуар для модифікуючого агенту; 3 – змішувач;
4 – віброживильник; 5 – стрічковий конвеєр; 6 – зважувальні ваги; 7 – екструдер для попереднього
змішування концентрату; 8 – екструдер для змішування концентрату з основним полімерним розплавом;
9 – змішувальна головка; 10 – резервуар з основним полімерним розплавом; 11 – різак;
12 – двигун зі змінною швидкістю*

Рис. 4 – Конструкція для безперервного контрольованого змішування плавленого полімеру з одним або кількома модифікуючими агентами (пат. № GB674716A)

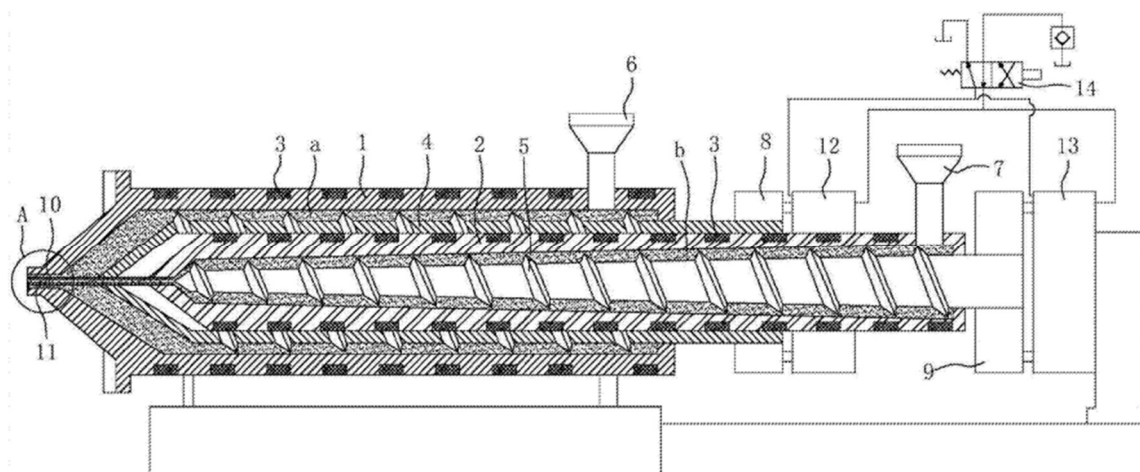
Інший апарат призначений для переробки полімерних композицій із додаванням добавок представлено у пат. № GB674716A (рис. 5). Корпус екструдера містить черв'як екструдера, який приводиться в рух приводним засобом. Гранульований матеріал подається до черв'яка екструдера за допомогою живильного пристрою. Одразу після зони змішування, матеріал потрапляє в змішувально-реакційну зону, що містить отвір для подачі добавок, який одночасно служить газовідводом. Серцевина змішувально-реакційної зони сформована як короткий подовжувач черв'яка, а черв'ячна спіраль приводиться в рух незалежно від черв'яка за допомогою привода і обертається таким чином, щоб просувати матеріал до випускного сопла, і, таким чином, черв'ячна спіраль і гвинтовий сердечник обертаються в одному напрямку.



*1 – корпус; 2 – черв'як; 3 – привід черв'яка; 4 – живильний отвір для гранульованого матеріалу; 5 –
змішувально-реакційна зона; 6 – вихідний патрубок; 7 – отвір для подачі добавок; 8 – серцевина; 9 –
спіраль; 10 – привід спіралі*

Рис. 5 – Апарат із зонами екструзії та змішування (пат. № US3787160A)

Екструзійне обладнання запропоноване у пат. №CN107114433A (рис. 6), відноситься до двошнекового екструдера типу «черв'як в черв'яку». Даний екструдер складається з двох робочих каналів: зовнішній робочий канал сформований між зовнішнім корпусом і зовнішнім шнеком; внутрішній робочий канал – між внутрішнім корпусом та внутрішнім шнеком. Подача компоненту «а» у зовнішній канал здійснюється через горловину, що примикає до зовнішнього каналу, подача компоненту «b» – через горловину, що примикає до внутрішнього каналу. Обертання зовнішнього і внутрішнього шнеків здійснюється за допомогою відповідних роторів та редукторів. Нагрівання компонентів «а» і «b» здійснюється за допомогою нагрівачів, що розташовані у зовнішньому та внутрішньому корпусах. Після проходження робочих каналів, компоненти «а» і «b» екструдуються, відповідно, через зовнішнє та внутрішнє екструзійні сопла, з подальшим їх змішуванням.

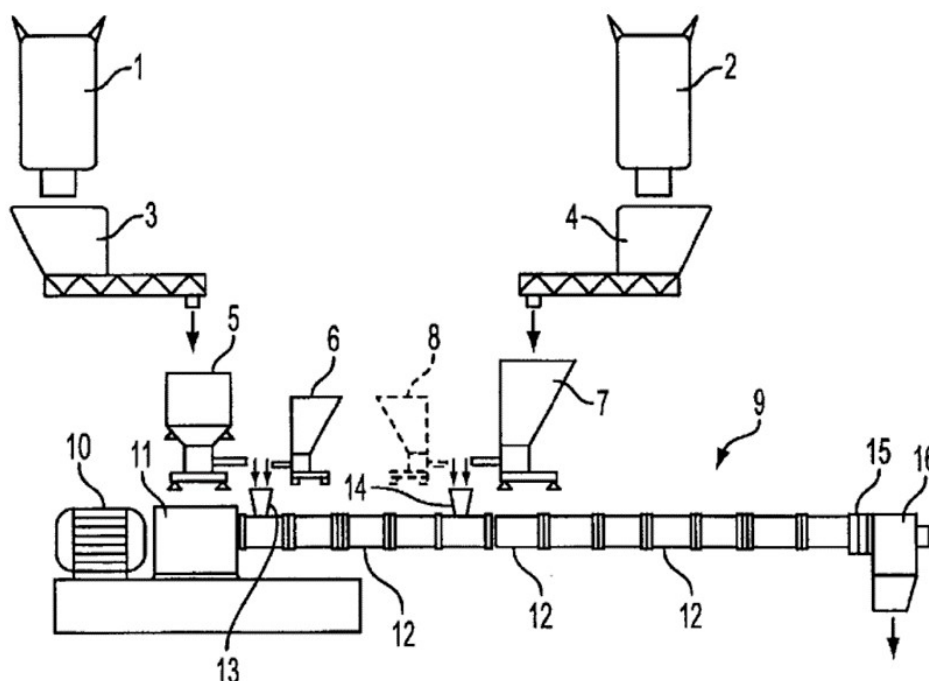


1 – зовнішній корпус; 2 – внутрішній корпус; 3 – нагрівачі; 4 – зовнішній шнек; 5 – внутрішній шнек; 6,7 – завантажувальні горловини для подачі компонентів суміші; 8,9 – ротори зовнішнього і внутрішнього шнеків відповідно; 10,11 – відповідно зовнішнє і внутрішнє екструзійні сопла; 12,13 – редуктори відповідно для зовнішнього і внутрішнього шнеків; 14 – соленоїд клапан; a,b – компоненти суміші

Рис. 6 – Двошнекове екструзійне обладнання для переробки двокомпонентних сумішей (пат. №CN107114433A)

У пат. №US6595765B1 (рис. 7) представлено агрегат для гомогенізації, змішування та/або гранулювання хімічних речовин, що складається щонайменше з двох компонентів за допомогою екструдера. Вихідні матеріали переміщуються з накопичувальних резервуарів в живильні пристрої, що транспортують компоненти у дозатори, які в свою чергу подають кожен із компонентів майбутньої суміші рівномірними дозами у робочу зону екструдера. Основним робочим органом екструдера є черв'як (на кресленні не показано), що приводиться в рух за допомогою електромотора та редуктора. Корпус екструдера є багатосекційним, окремі секції якого оснащені завантажувальними горловинами, через які відбувається подача компонентів суміші у робочу зону екструдера. Черв'як, що розташований в корпусі екструдера, транспортує усі компоненти в однорідну суміш, паралельно транспортуючи її до формуючої головки, за якою розташований ріжучий механізм.

Представлений агрегат за своїм принципом роботи дуже схожий на ті, що були розглянуті раніше (пат. № UA13041C1 та пат. № GB674716A), проте, основною особливістю конструкції, що запропоновано в даному патенті є те, що корпус екструдера складається із секцій, тобто є розбірним. Наявність секційного корпусу є дуже корисною конструктивною перевагою екструдера, адже це дає змогу встановлювати секції корпусу із оснащеними на них завантажувальними отворами, для подачі додаткових компонентів, фактично у будь-якій точці по довжині робочої зони. Дана функція дуже актуальна, особливо коли є необхідність введення добавки, що не придатна для тривалого перебування в робочій зоні екструдера з підвищеними температурами, з цією метою у нас з'являється можливість встановлення секції корпусу із завантажувальним отвором ближче до кінця робочої зони. Але, для забезпечення хорошого рівня однорідності, бажано встановлювати робочий черв'як із оснащеним на ньому змішувальним елементом, який буде розташований після отвору для подачі додаткового компоненту(ів).



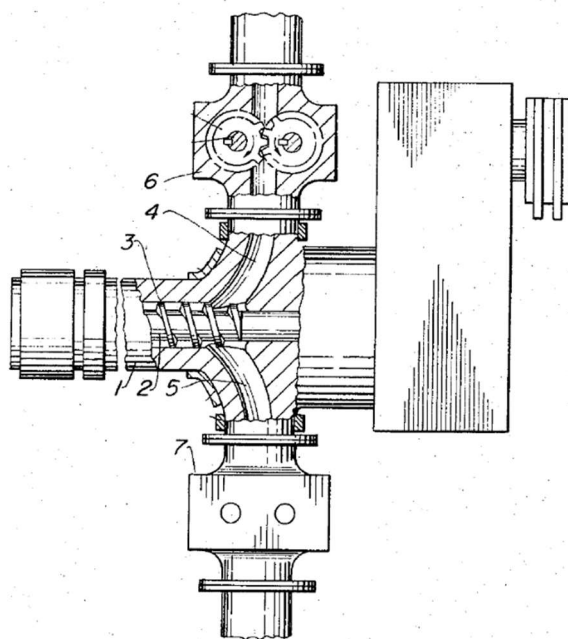
1,2 – резервуари; 3,4 – живильні пристрої; 5,6,7,8 – дозатори; 9 – екструдер; 10 – електромотор; 11 – редуктор; 12 – корпус; 13,14 – завантажувальні горловини; 15 – формуюча головка; 16 – ріжучий механізм

Рис. 7 – Агрегат для гомогенізації, змішування та/або гранулювання хімічних речовин (пат. №US6595765B1)

Черв'ячний екструдер для переробки суміші двох або більше термопластичних полімерів та/або інших вихідних матеріалів, що представлений у пат. №US3360822A (рис. 8), являє собою корпус, в середині якого знаходиться черв'як із спіральною навивкою, з можливістю обертання для змішування та транспортування термопластичної суміші вздовж робочого каналу екструдера. Корпус також містить два канали для подачі компонентів суміші, причому ці два канали повністю відокремлені один від одного. Подача окремих компонентів термопластичної суміші через відповідні канали здійснюється за допомогою шестеренних насосів, за допомогою яких можна також регулювати швидкість подачі компонентів суміші незалежно один від одного.

За принципом введення двох компонентів в середину робочої черв'ячної зони, даний екструдер чимось схожий на пат. № GB674716A, тобто компоненти суміші можуть мати попередню обробку, після чого, за допомогою шестеренних насосів відбувається подача кожного із компонентів у робочу (черв'ячну) зону екструдера, де відбувається їх змішування. Основна відмінність даної моделі в тому, що центральні вісі каналів, призначених для введення компонентів у порожнину екструдера, мають закруглену траєкторію і поступово переходять з прямого кута у гострий (по відношенню до осі черв'яка). Тобто розплави компонентів будуть входити у черв'ячний канал екструдера майже тангенціально. Іншими словами, напрям потоку введеного матеріалу буде частково збігатися з напрямком потоку в основному каналі. Запропонована конструкція дає можливість більш точного контролю пропорцій введених компонентів, а також запобігти зайвих втрат енергії за рахунок тангенціального введення кожного компоненту у робочу зону екструдера.

Після загального аналізу оглянутих патентів, можна виокремити наступну тенденцію при проектуванні черв'ячних екструдерів, що призначені для переробки багатокомпонентних сумішей: корпус екструдера повинен складатись із секцій, щоб була можливість встановлення секції(й) з отвором для подачі додаткового компоненту; бажано, щоб канали для введення додаткових компонентів мали гострий кут нахилу із віссю черв'яка; черв'як має бути оснащений періодичними змішувальними елементами по всій довжині, щоб забезпечити високий рівень змішування додаткових компонентів з основним матеріалом.



1- корпус; 2 – черв'як; 3 – спіральна навивка; 4,5 – канали для подачі компонентів; 6,7 – шестеренні насоси

Рис. 8 – Черв'ячний екструдер для переробки суміші двох або більше термопластичних полімерів (пат. №US3360822A)

Висновки. Було проведено аналіз існуючих конструкцій екструзійного устаткування для переробки багатокомпонентних сумішей, в результаті якого було виявлено сильні та слабкі сторони кожної моделі, а також було зазначено найбільш суттєві конструктивні особливості кожної моделі з метою подальшого проектування найбільш ефективного черв'ячного екструдера призначеного для переробки багатокомпонентних сумішей. Тим більше, що сучасне комп'ютерне моделювання дає змогу істотно спростити процес розробки удосконаленої моделі черв'ячного екструдера.

Перспективи подальших досліджень. На базі представленого огляду патентів передбачено реалізація варіанту конструкції експериментального агрегату, яка враховує переваги наведених технічних рішень, з можливістю введення нового конструктивного рішення.

Список використаної літератури

1. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 293 с.
2. Проектування формуючих пристроїв обладнання для переробки пластмас: навч. посіб. / О.Л. Сокольський, В.І. Сівецький, І.О. Мікульонок. – К. НТУУ «КПІ», 2014. – 148 с.
3. Сокольський О. Л., Мікульонок І. О. Моделювання обладнання і процесів перероблення полімерних матеріалів методом екструзії: монографія. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 252 с.
4. Основи моделювання і конструювання черв'ячних екструдерів: Навч. посіб. – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка»», 2002. – 152 с.
5. Мікульонок І. О. Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини: монографія. – К.: ІВЦ „Видавництво «Політехніка»”, 2009. – 265 с.
6. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів : навч. посіб. / І. О. Мікульонок, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко . – К. : НТУУ «КПІ», 2015. – 200 с.
7. Mikulionok I. O. Classification of Hollow Rollers of Roller Machines for the Treatment of Polymeric Materials and Rubber Compounds (Survey of Patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2022. Vol. 58, N 5–6. P. 433–438.

Volodymyr Sivetskyi, Oleksiy Malchevskyi

EXTRUSION UNITS FOR PROCESSING MULTICOMPONENT MIXTURES

In this work, extrusion units designed for the processing of multicomponent mixtures, in particular polymer compositions, are considered. The analysis was carried out on the basis of existing designs of worm extruders, which are used in industry for processing thermoplastic materials. The research focuses on issues related to the processing of mixtures consisting of several components that have different physicochemical properties, which require different conditions for processing each of them.

Worm extruders are the most common type of equipment for polymer processing processes, but their use requires consideration of the specifics of each component of the mixture. This is due to the fact that under the same processing conditions, the properties of individual components can differ significantly, which can lead to the inefficiency of the process or to obtaining a low-quality final product.

Several prototypes of extruders are examined in detail and critically evaluated, in particular designs of extrusion units with modified zones of mixing and dosing of components. Designs using simultaneous dosing of several components, their pre-mixing, as well as designs that involve individual processing of each component before combining them are described. This allows for better homogeneity of the mixture, which is critical for obtaining a high-quality final product.

Extruder designs were also considered, which offer different approaches to the organization of the mixing and extrusion process of multicomponent mixtures and use separate screws for each component or extruders with a sectional design, which allows the adjustment of the process to specific production needs.

The advantages and disadvantages of each of the considered options are indicated, in particular, the simplicity of the design, the efficiency of mixing, the accuracy of dosing, as well as energy consumption.

As a result, a thorough comparison of various designs of extrusion units was provided, their key advantages and disadvantages were identified, and recommendations were provided for the optimal layout of units for processing multicomponent mixtures in various industries.

Keywords: worm extruder, composite materials, mixtures, mixing, designs, polymer compositions, extrusion

References

1. Mikulonok I. O. (2020). Technological basis of polymer materials processing: teaching manual. Kyiv: KPI named after Igor Sikorskyi.
2. Sokolskyi, O. L., Sivetskyi, V.I., Mikulonok, I.O., (2014). Design of forming devices for plastics processing equipment: training manual. Kyiv: NTUU "KPI".
3. Sokolskyi, O. L. and Mikulonok, I.O., (2020). Modeling of equipment and processes of processing polymer materials by the extrusion method: monograph. Kyiv: KPI named after Igor Sikorskyi.
4. Mikulonok, I. O., (2002). Basics of modeling and designing worm extruders: Training manual. Kyiv: IVC "Polytechnic Publishing House".
5. Mikulonok, I. O., (2009). Equipment and processing processes of thermoplastic materials using secondary raw materials: monograph. Kyiv: Polytechnic Publishing House.
6. Mikulonok, I. O., Sokolskyi, O.L., Sivetskyi, V.I. and Radchenko, L.B., (2015). Fundamentals of designing single-worm extruders: training manual. Kyiv: NTUU "KPI".
7. Mikulonok, I. O. (2022). Classification of Hollow Rollers of Roller Machines for the Treatment of Polymeric Materials and Rubber Compounds (Survey of Patents). Chemical and Petroleum Engineering,. 58(5-6), pp.433–438.