

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України
Академія будівництва України
Громадська організація «Клуб пакувальників»

**ЗБІРНИК ДОПОВІДЕЙ
XXI Всеукраїнської
науково-практичної конференції**

**ЕФЕКТИВНІ ПРОЦЕСИ ТА
ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ
ТА ПАКУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

Київ, 12-13 червня 2025 року

УДК 678.05

ББК 30

Збірник доповідей XXI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 104 с.

Видання містить програму та доповіді (в редакції авторів) XXI Всеукраїнської науково-практичної конференції, що відбулася на кафедрі хімічного, полімерного і силікатного машинобудування інженерно-хімічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» 12-13 червня 2025 року.

Для науковців, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів.

Рекомендовано до друку Вченою радою ІХФ КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Співорганізатори конференції:

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України

Академія будівництва України

Громадська організація «Клуб пакувальників»

Голова оргкомітету:

заслужений працівник народної освіти України, д-р техн. наук, професор каф. ХПСМ КПІ ім. Ігоря Сікорського Панов Є.М.

Заступники голови - члени організаційного комітету:

д-р техн. наук, доцент, зав. каф. ХПСМ КПІ ім. Ігоря Сікорського Сокольський О.Л.,

д-р техн. наук, старш. наук. співоб., професор, професор каф. ХПСМ КПІ

ім. Ігоря Сікорського Карвацький А.Я.,

заслужений винахідник України, д-р техн. наук, старш. наук. співоб.,

професор, професор каф. ХПСМ КПІ ім. Ігоря Сікорського Мікульонюк І.О.,

канд. техн. наук, професор, професор каф. ХПСМ КПІ ім. Ігоря Сікорського Сівецький В.І.,

д-р техн. наук, професор, зав. відділом ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України Пашенко Є.О.,

заслужений діяч науки і техніки України, академік Академії будівництва України, д-р техн. наук,

професор, зав. каф. МОТБ КНУБА Назаренко І.І.,

академік Академії будівництва України, д-р техн. наук, професор, професор Сахаров О.С.

канд. техн. наук, президент ГО «Клуб пакувальників» Халайджі В.В.

Секретар конференції:

PhD, асистент каф. ХПСМ КПІ ім. Ігоря Сікорського Витвицький В.М.

Верстка та видання:

PhD, асистент каф. ХПСМ КПІ ім. Ігоря Сікорського Витвицький В.М.

Відповідальний за випуск
Сокольський О.Л., доктор техн. наук, доцент.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

© Автори доповідей, 2025
© КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНКІВ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОЦЕСІВ

Стор.

Северин Р.Р., Шпак О.Л., Швачко Д.Г. Модернізація контролю температури валка каландра	5
Мураль Р.С., Федоряченко Ю.А., Швачко Д.Г. Модернізація віброшнекового живильника	7
Філіпенко С.О., Витвицький В.М., Коцюба З.М. Модернізація корпусу екструдера для підвищення ефективності роботи завантажувальної секції	10
Цветков А.Є., Витвицький В.М., Коцюба Н.М. Дослідження модернізованого черв'яка одночерв'ячного екструдера	13
Орлов М.С., Федоряченко Ю.А., Карасьов В.С., Герасименко Ю.Ю. Черв'ячний екструдер з підвищеною ефективністю	16
Гурін Р.С., Гондляр О.В., Сокольський О.Л., Щербина В.Ю. Вплив багатостінних вуглецевих нанотрубок на характеристики течії полімерного розплаву при екструзії двошарових труб	19
Гондляр О.В., Янковський І.О., Мосійчук О.А. Дослідження умов фіксації вуглецевих нанотрубок у полімерній підкладці при холодному газодинамічному напыленні	21
Безверхий І.О., Гондляр О.В., Чемерис А.О. Вплив рівня наномодифікації полімеру на міцність кінцевого виробу	24
Мосійчук О.А., Чемерис А.О. Оцінка фільтраційних властивостей осаду у різнодисперсних модельних системах	27
Лобанов Г.Ю., Ходжаян С.К., Мальчевський О.Т., Гур'єва Л.Н. Порівняльний розрахунок базової та модернізованої конструкцій черв'яка екструзійної машини	30
Галабіцький Р.В., Сокольський О.Л., Дунін К.Д. Пристрій регулювання робочого зазору щоклової дробарки	34
Кривенко Н.Р., Сівецький В.І., Ходжаян С.К. Модернізація конструкції валка вальців з метою підвищення міцності машини	37
Велимчаниця В.А., Сівецький В.І., Іщук В.Є. Модернізація конструкції валка вальців з метою підвищення міцності машини	39
Шульга В.Р., Дунін К.Д., Сідоров Д.Е. Модернізація трубної головки екструдера	41
Шумивода К.О., Шилович І.Л., Дунін К.Д. Теплоелектричний стан печі Ачесона для промислового отримання карбіду кремнію	43
Косенков В.О., Шилович Т.Б., Гунчар Д.О. Валкова дробарка із вдосконаленими валками	46
Гора І.Г., Шилович Т.Б. Модернізація сита вібраційного грохота з метою підвищення продуктивності та ефективності розділення матеріалу	48
Панченко Є.О., Скомороха Н.В., Іщук В.Є. Моделювання напружено-деформованого стану конуса дробарки	51
Карпенко Д.В., Гунчар Д.О. Модернізація корпусу кульового млина СМ436 для подрібнення вапняку	54

СЕКЦІЯ МАШИНИ І ТЕХНОЛОГІЇ ПАКУВАННЯ

Шилович Т.Б., Усюк І.С. Переробка паперової упаковки в Україні	57
Остапчук М.О., Карасьов В.С., Діденко Л.В. Модернізація розливного патрону	59
Витвицький В.М., Швець Д.А., Сокольський О.Л. Моделювання співекструзійного формування пакувальних плівок	62

Тютєєв Т.В., Федоряченко Ю.А., Шилович І.Л. Тепловий режим роботи валка формування розплаву біополімеру.....	66
Гончаров Д.В., Гроховецький В.С., Шевцов А.О., Шилович І.Л. Розробка головки екструдера для виробництва двошарової пакувальної плівки.....	69

СЕКЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ І ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Ус К.В., Гондлях О.В., Белых М.В. Лінія для виробництва транспортерної стрічки з модернізацією Г- подібного каландра.....	71
Довбня О.В., Гондлях О.В., Карасьов В.С. Підвищення ефективності роботи дискового вакуумного фільтра.....	73
Васильченко Г.М., Підмурняк Д.О., Буканов М.Е. Визначення достовірності результатів виконання дипломних проєктів.....	74
Васильченко Г.М., Репецький І.В., Ходжаян С.К. Обґрунтування використання модернізації вузла.....	75
Лобанов Г.Ю., Ходжаян С.К., Мальчевський О.Т., Гур'єва Л.Н. Покращення процесу переробки полімерної сировини методом екструзії шляхом вдосконалення геометрії черв'яка.....	77
Мікульонюк І.О., Гур'єва Л.Н. Стрічковий елемент насадки масообмінного апарата.....	79
Ковтонюк О.В., Мікульонюк І.О. Модернізація кабельної головки одночерв'ячного преса.....	81
Буканов М.Є., Мікульонюк І.О. Удосконалене кільце Рашига.....	83
Гунчар Д.О., Скомороха Н.В., Мікульонюк І.О. Насадка масообмінного апарата у вигляді каркасної сфери.....	85
Витвицький В.М., Партоленко О.К., Мікульонюк І.О., Витвицький В.М. Елемент насадки тепломасообмінного апарата у вигляді тороїдального багатогранника.....	87
Витвицький В.М., Єлтунов В.С., Мікульонюк І.О., Витвицький В.М. Пристрій для розмічання скошеного місця розрізання циліндричного об'єкта.....	89
Мельник Д.С., Витвицький В.М., Олексішен В.М., Демидик О.І., Луцевят І.О. Вдосконалення корпусу одночерв'ячного екструдера з метою поліпшення процесу екструзії.....	91
Богущ А.С., Сідоров Д.Е. Модернізація системи впорскування термопластавтомата для підвищення якості лиття виробів із полімерних матеріалів.....	94
Козік Д.О., Бондар Р.В., Сідоров Д.Е. Апробація методики визначення глибини деструкції поверхні технічної гуми при лазерній обробці.....	96
Гарбовський Д.А., Сідоров Д.Е. Дозатор гранул з модернізацією шнека.....	97
Олексішен В.М., Борщик С.О., Витвицький В.М. Дослідження продуктивності процесу просторового друку.....	99
Олексішен В.М., Борщик С.О. Огляд типових конструкцій FDM 3D принтерів.....	101
Олексішен В.М., Борщик С.О. Спосіб 3D-друку виробів із рідких матеріалів, що твердіють.....	103

СЕКЦІЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНКІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОЦЕСІВ

Модернізація контролю температури валка каландра

Северин Р.Р., студ., Шпак О.Л., студ., Швачко Д.Г., PhD, ас.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропонована модернізація валка Г-каландру, мета якої є збільшення ефективності теплообміну між валками та полімерним матеріалом і тим самим покращити якість отримуваних листових або плівкових виробів.

Ключові слова: каландр, валок, теплообмін, модернізація, енергоефективність.

Вступ. Стандартна конструкцію валка каландра для переробки полімерів [1] є недоліки такі як дороговизна та складність виготовлення. Головним недоліком базової конструкції валка є нерівномірність теплообміну по довжині робочої поверхні бочки валків. З метою покращення ефективності теплообміну валка в [2] було представлено варіанти удосконалення конструкції системи охолодження валків, рис. 1.

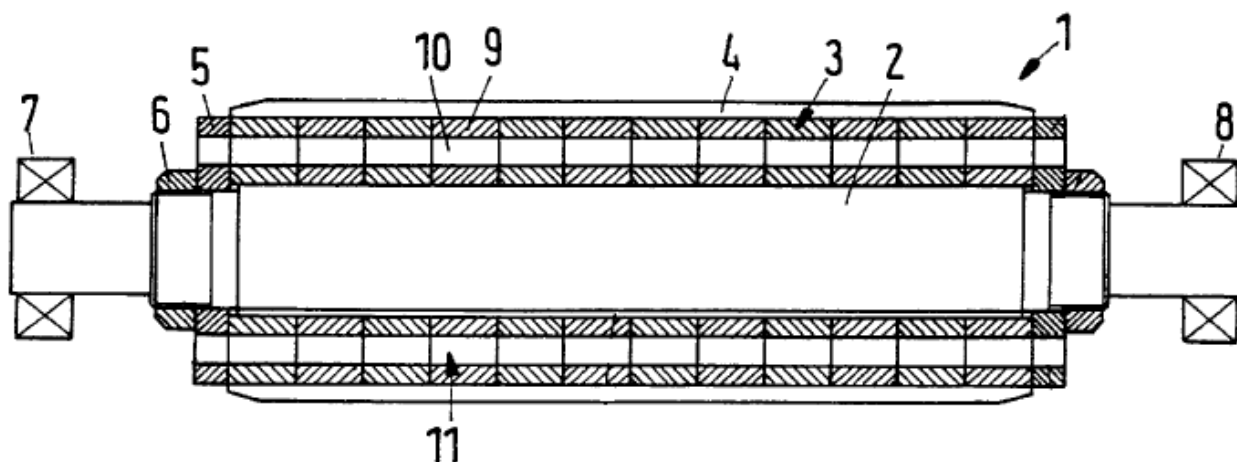


Рисунок 1 – Загальний вид валка каландра в поздовжньому розрізі: 1– каландровий вал;
2 – основний корпус; 3 – опорний циліндр; 4 – кришка; 5 – фланцеві диски; 6 – гайка;
7,8 – підшипники; 9 – окремі кільцеві диски; 10,11 – наскрізні отвори

Винахід представляє інноваційний каландровий валик, розроблений для задоволення практичних вимог промислового використання, таких як мінімальна власна вага, оптимальні деформаційні характеристики та ефективне охолодження. Ці властивості забезпечують підвищену продуктивність і довговічність валика в технологічних процесах, зокрема в обробці матеріалів, де потрібна висока точність і стабільність. Основою конструкції є циліндричний корпус, виготовлений із легкого металу, наприклад алюмінію, що має низьку питому вагу. На корпус наноситься еластична пластикова кришка, яка забезпечує необхідну гнучкість і зносостійкість. Між кришкою та основним корпусом розташований опорний циліндр, який не лише передає навантаження, а й містить спеціально сформовані канали для охолоджувальної рідини. Ці канали можуть бути інтегровані в структуру опорного циліндра або проходити через нього, забезпечуючи ефективне відведення тепла.

З метою перевірки працездатності модернізованої конструкції валка проведено температурні розрахунки з використанням системи автоматизованого проектуванні [3], результати представлені на рис.2.

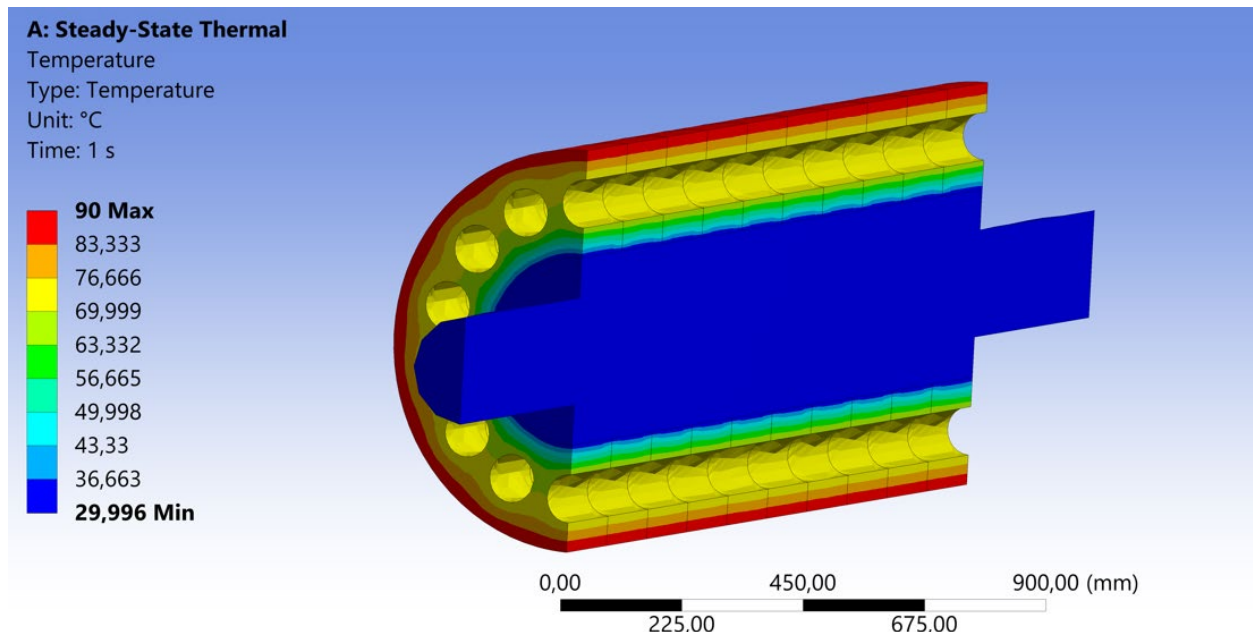


Рисунок 2 – Результати температурних розрахунків модернізованої конструкції валка

Висновки. Каландровий валок, описаний у винаході, має інноваційну конструкцію, яка забезпечує високу ефективність у виробництві завдяки поєднанню легкості, міцності та оптимального теплового управління. Використання легкого металу (наприклад, алюмінію) для циліндричного корпусу знижує вагу валика, полегшуючи його експлуатацію та зменшуючи енергоспоживання.

Перелік посилань

1. Валкові машини: навч. посіб. / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. І. Сівецький, Д. Е. Сідоров, Д. Г. Швачко. – Київ: НТУУ «КПІ», 2023. – 112 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/62811>.
2. Пат. US6129652A ·2000-10-10
3. Щербина В.Ю., Гондляр О.В., Чемерис А.О., Швачко Д.Г. AutoLISP при проектуванні технологічного обладнання [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2024. 175 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45732>.

Модернізація віброшнекового живильника

Мураль Р.С., студ., Федоряченко Ю.А., студ., Швачко Д.Г., PhD, ас.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропонована модернізація шнека, яка дає можливість встановлювати декілька збірних частин лопатей, в яких можна відрегулювати напрямок витків, а також просто замінити на нові, якщо старі пошкоджені.

Ключові слова: шнек, дозатор, лопаті, модернізація.

Вступ. Шнекові (гвинтові) живильники – це важливі транспортні пристрої для переміщення сипучих матеріалів у різних галузях промисловості. Гвинт таких живильників розташовується поблизу дна жолоба й занурений у матеріал. Під час обертання гвинта частинки рухаються по гвинтовій траєкторії в напрямку до виходу [1]. Завдяки герметичності вони мають перевагу в роботі з пилоподібними вантажами, однак мають і суттєвий недолік – швидке спрацювання як самого гвинта, так і жолоба. Крім того, традиційні конструкції шнекових валів є суцільними, що обмежує можливості ремонту й адаптації до специфіки матеріалу. Саме тому актуальним є вдосконалення таких систем шляхом введення модульної архітектури.

У патенті CN222311730U запропоновано конструкцію шнекового валу з розбірною системою лопатей [2]. Механізм містить центральний шнековий вал 1, на який послідовно встановлюються змінні спіральні втулки 2 з лопатями 3. Кожна втулка має з обох сторін з'єднувальні елементи – перший 4 і другий 5, що щільно входять один в одного, формуючи фіксоване осьове зчеплення. Для забезпечення синхронного обертання застосовано систему передавальних площин – перша 6 на валі та друга 7 на внутрішній поверхні втулки, які разом утворюють механічну передачу за принципом "ключ-замок".

Герметичність конструкції підвищується за рахунок встановлення ущільнювальних елементів 8 між втулками. У торцевій частині шнекового механізму розташовуються фіксуючі елементи – дно із стопорним кільцем 9, центрувальна втулка 10, обмежувач 11 та кріпильний елемент 12, які забезпечують стійкість, точне позиціонування та запобігають осьовому зсуву деталей під час обертання. Візуально будову конструкції та положення основних елементів можна побачити на рис. 1-2.

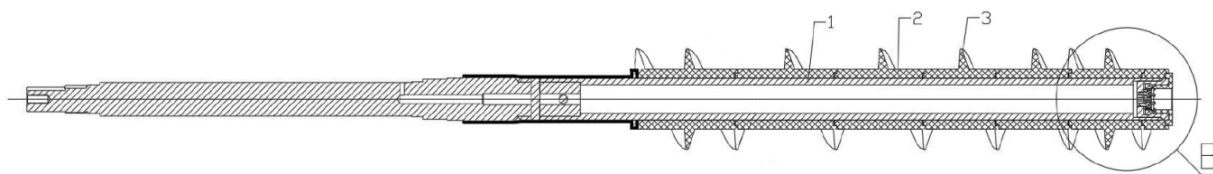


Рисунок 1 – Схема модернізованого шнекового валу

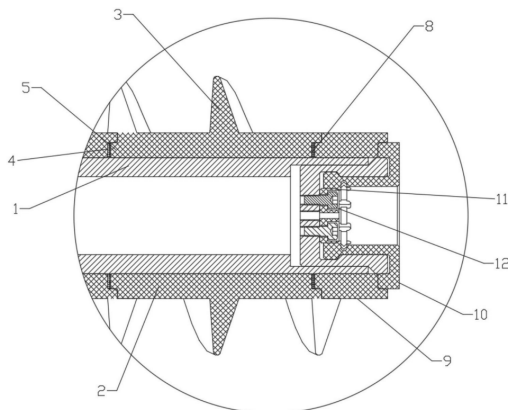


Рисунок 2 – Схема збільшеної зони В

Запропонована конструкція дозволяє легко змінювати геометрію шнека: його довжину, крок, кількість витків, а також напрям обертання. Завдяки цьому механізм стає адаптивним до різних видів сировини, рівня вологості та продуктивності. У разі пошкодження одного сегмента, він може бути швидко замінений без демонтажу всього валу, що значно зменшує простой обладнання.

Для оцінки міцності та працездатності як базової, так і модернізованої конструкції шнека було виконано числове моделювання в середовищі ANSYS 2024 R2 [3]. Обидві моделі були побудовані у SolidWorks і проаналізовані як тіла з матеріалу сталь 45 (ДСТУ 7809:2015), з урахуванням межі текучості $\sigma_t = 355$ МПа та межі міцності $\sigma_b = 600$ МПа та навантажені як показано на рис. 3.

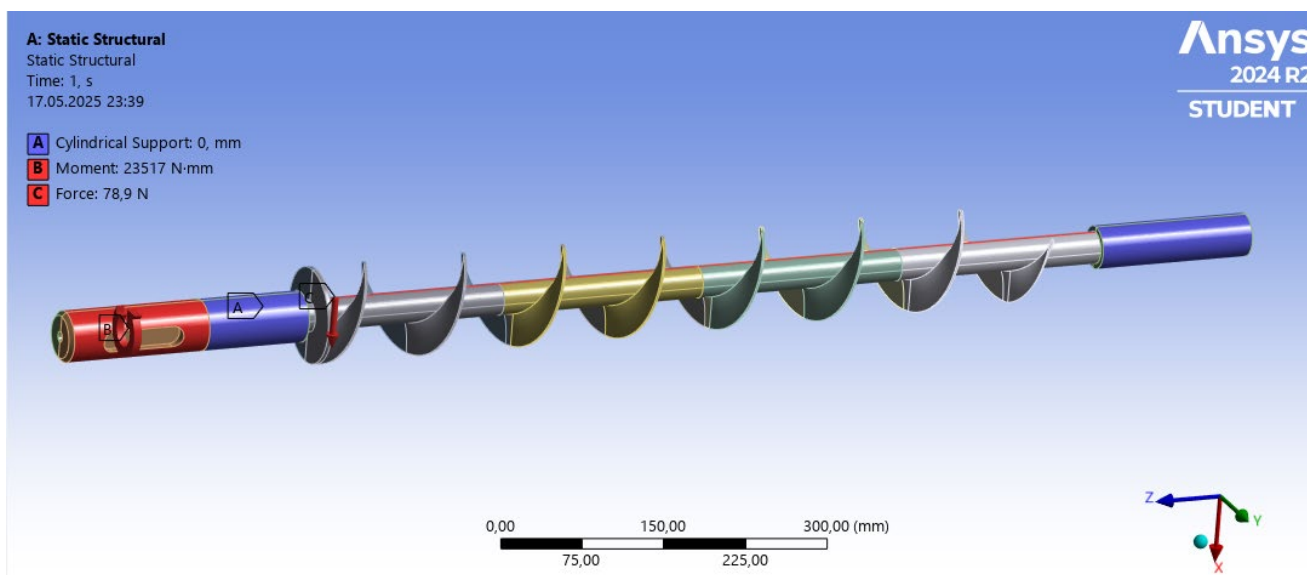


Рисунок 3 – Закріплення та навантаження для модернізованого шнека (ANSYS)

У базовій конструкції (рис. 4) максимальне переміщення становило 0,0137 мм, а еквівалентне напруження за Мізесом – 3,74 МПа. Найбільше навантаження виникало в центральній частині шнека та в зонах опор (підшипників). Коефіцієнт запасу міцності становив 94,9, що свідчить про значну перевитримку за міцністю.

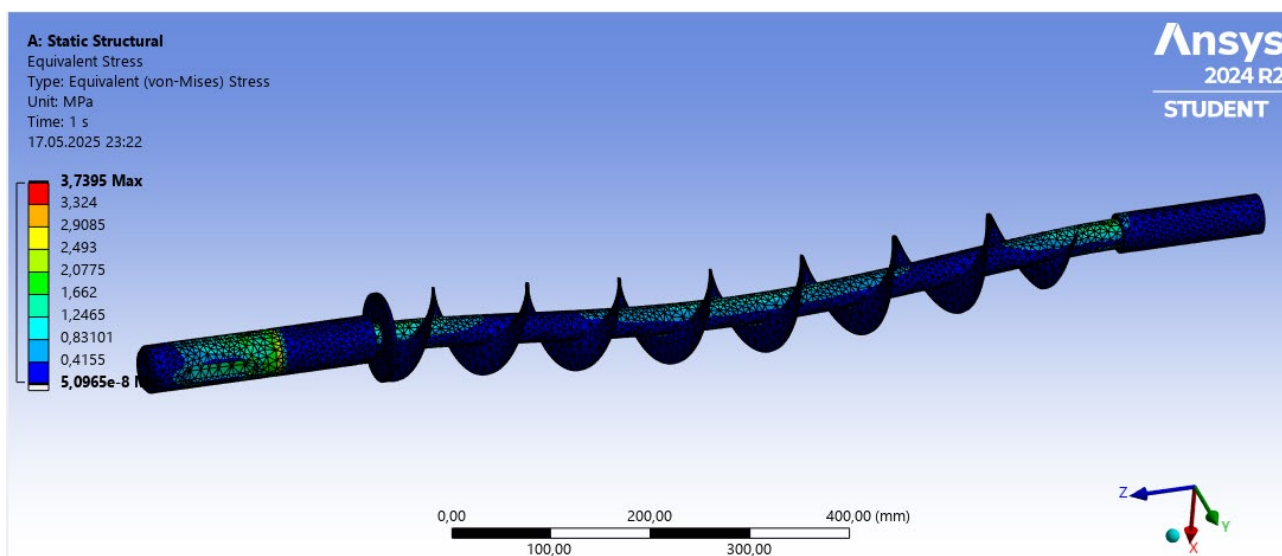


Рисунок 4 – Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом у базовому шнеку

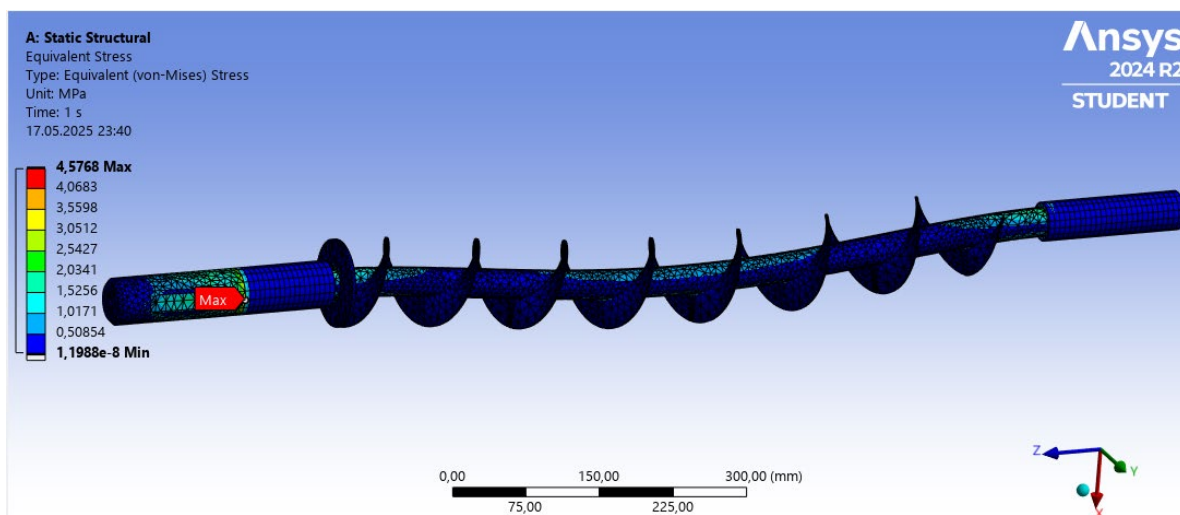


Рисунок 5 – Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом у модернізованому шнеку

Для модернізованої конструкції (рис. 5) максимальне переміщення становило 0,0142 мм, а максимальне еквівалентне напруження – 4,58 МПа. Коефіцієнт запасу міцності у цьому випадку склав 77,6. Незважаючи на дещо більші деформації й напруження, всі значення залишаються в межах допустимого, і умова міцності виконується.

Порівняльний аналіз показує, що модернізація практично не вплинула на міцнісні характеристики шнека, однак забезпечила конструктивні переваги — можливість заміни окремих сегментів, зміну кроку лопатей, зменшення витрат на обслуговування та підвищення адаптивності обладнання.

Висновки. Запропонована конструкція шнека є працездатною. Числовий аналіз у ANSYS показав, що напруження та деформації не перевищують допустимі значення. Коефіцієнт запасу міцності становить 77,6. Модернізація дозволяє змінювати крок, напрям витків та легко замінювати зношені частини.

Перелік посилань

1. Коваленко І.В. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв.: навч.посібник. Київ : Воля-Інрес, 2006. 100 с.
2. Патент CN222311730U. МПК(2006.01) B65G 33/32. Механізм шнекового валу і шнековий живильник / Ян Є; Лі Дун'юань; Ян Сюньюань. № 202420488705.1; заявл. 13.03.2024; опубл. 07.01. 2025.
3. Щербина В.Ю., Гондляр О.В., Чемерис А.О., Швачко Д.Г. AutoLISP при проектуванні технологічного обладнання [Електронний ресурс] / КПП ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2024. 175 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45732>.

Модернізація корпусу екструдера для підвищення ефективності роботи завантажувальної секції

Філіпенко С.О., студ., Витвицький В.М., PhD, ас., Коцюба З.М. студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

При зміні типу, моделі, форми та розміру виробу змінюються вимоги до подачі матеріалу в екструдер, що робить актуальним можливість регулювання зазначеної подачі. Завдяки модернізації у вигляді введення дозуючої заслінки, яка розміщується в корпусі зони завантаження, під завантажувальним отвором, в нас з'являється можливість дозувати подачу матеріалу.

Ключові слова: модернізація, дозування, зона завантаження, одночерв'ячний екструдер, дозувальна заслінка.

Вступ. У сфері виготовлення та обробки полімерів і композитів застосовується спеціалізоване технологічне обладнання — екструдер. Це пристрій, який забезпечує формування полімерних матеріалів, надаючи їм задану форму за допомогою профільюючого елемента [1–2].

Найбільш широко використовуваними є одночерв'ячні екструдери, що використовуються як перша ланка при роботі в лінії виробництві полімерних труб з полівінілхлориду (ПВХ) або іншої продукції, встановлених згідно з послідовністю операцій технологічного процесу [3–4].

З метою забезпечення функції дозованої подачі матеріалу в екструдер, розширення діапазону застосування формуючих головок та підвищення рівня контролю технологічного процесу, запропоновано вдосконалити конструкцію корпусу зони завантаження шляхом інтеграції дозувальної заслінки [5] (рис. 1).

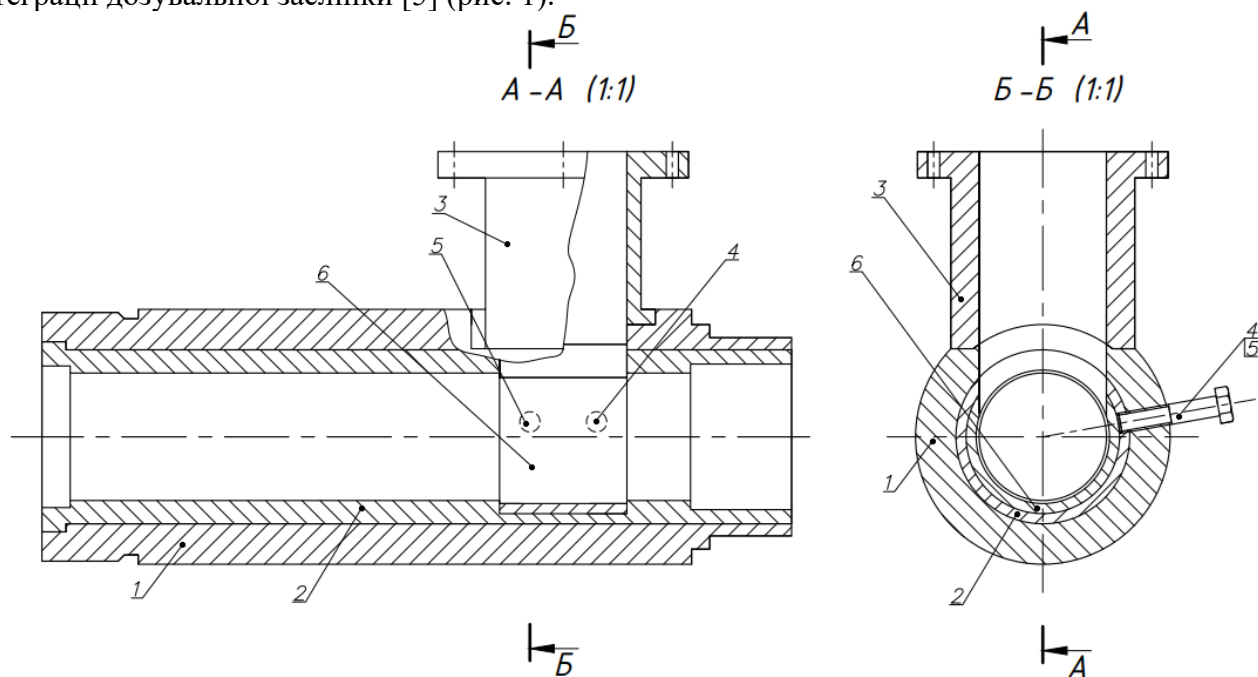


Рисунок 1 – Вигляд модернізованої конструкції корпусу зони завантаження екструдера;
1 – циліндр; 2 – гільза; 3 – завантажувальна горловина; 4 – болт 1;
5 – болт 2; 6 – дозувальна заслінка

Корпус зони завантаження включає циліндр 1, гільзу 2, завантажувальну горловину 3, а також болти 4 і 5, які забезпечують фіксацію положення дозувальної заслінки 6. Дозувальна заслінка 6 виконує функцію дозування матеріалу шляхом обертання навколо власної осі. Її фіксація в заданому положенні здійснюється за рахунок притискання площини заслінки болтами 4 і 5.

Оснащення корпусу зони завантаження одночерв'ячного екструдера дозувальною заслінкою забезпечує можливість регулювання подачі матеріалу, що розширює технологічні можливості виготовлення виробів без потреби в заміні екструдера.

Було проведено розрахунок модернізованої конструкції корпусу зони завантаження одночерв'ячного екструдера в програмному середовищі ANSYS Workbench, за результатами якого отримано розподіл температур, тотальних деформацій, еквівалентних напружень за Мізесом, а також визначено коефіцієнт запасу міцності (Safety Factor).

Усі деталі корпусу зони завантаження виготовлені зі сталі марки 40XH2MA згідно з ДСТУ 7806:2015, яка має границю текучості $[\sigma_T] = 850$ МПа, яка закалена і відпущена (HRC ~35–40).

До внутрішньої поверхні корпусу прикладено тиск у 50 МПа, як максимального можливого тиску всередині зони екструдювання, для перевірки на міцність. Фланець зони з'єднання корпусу зони завантаження з екструдером закріплено жорстким закріпленням. Фланець зони з'єднання корпусу зони завантаження з корпусом зони пластифікації по осі Z=0мм.

У середині корпусу зони завантаження температура внутрішньої поверхні змінюється в діапазоні від 45 до 70 °С, що є температурним діапазоном для перероблюваного матеріалу (ПВХ) в зоні завантаження, тоді як зовнішня поверхня здійснює теплообмін з навколишнім повітрям за температури 22 °С та коефіцієнта теплообміну 10 Вт/м²·К [4].

На рис. 2–4 показано результати проведеного дослідження, відповідно результат розподілу температур, результат розподілу деформацій і еквівалентні напруження по Мізесу.

J: Steady-State Thermal

Temperature
Type: Temperature
Unit: °C
Time: 1 s
23.05.2025 11:51:51

70 Max
67,14
64,28
61,419
58,559
55,699
52,839
49,979
47,118
44,258 Min

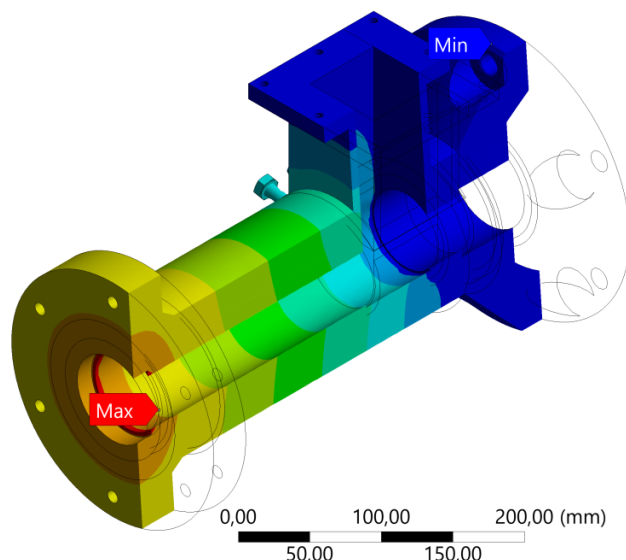


Рисунок 2 – Результат розподілу температур, °С

K: Static Structural

Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
23.05.2025 7:17:22

0,017096 Max
0,015197
0,013297
0,011397
0,0094979
0,0075983
0,0056987
0,0037992
0,0018996
0 Min

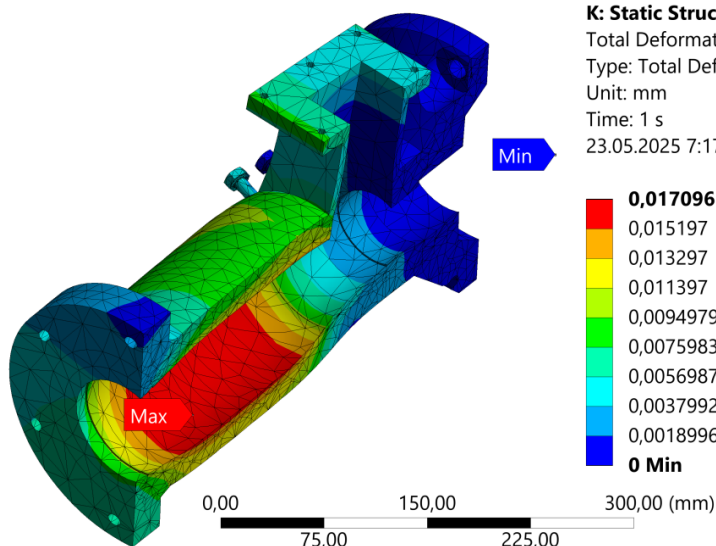


Рисунок 3 – Результат розподілу загальних деформацій, мм

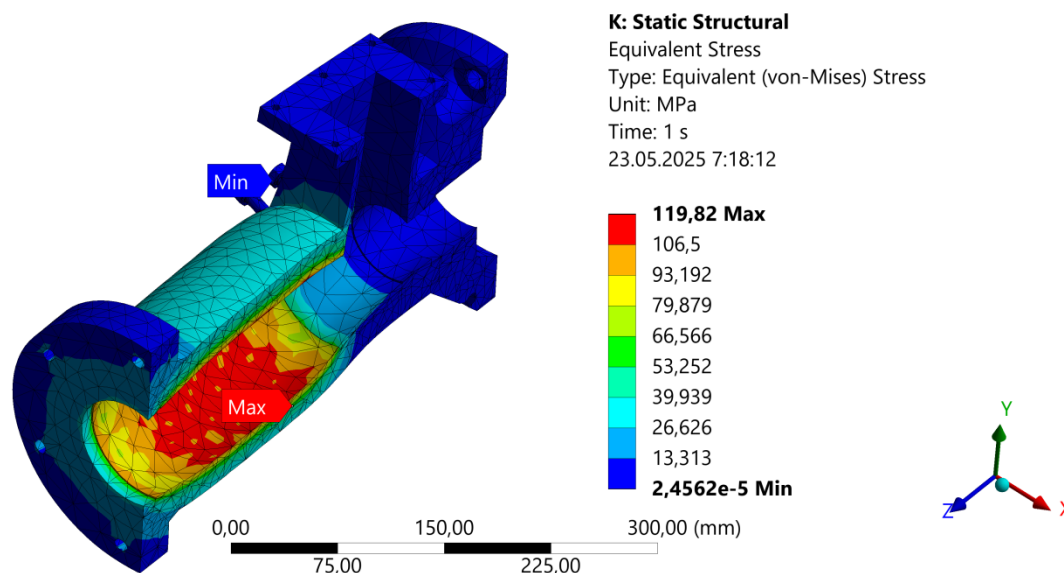


Рисунок 4 – Результат напруження за Мізесом, МПа

При цьому на рис. 2 бачимо нормальний розподіл температур; на рис. 3 бачимо максимальні деформації 0,017 мм, що є допустимим; на рис. 4 бачимо максимальні отримані напруження за Мізесом $\sigma_{max} = 119,82$ МПа, що з урахуванням границі міцності матеріалу корпусу зони завантаження дає такий коефіцієнт запасу n

$$n = [\sigma_T] / \sigma_{max} = 850 / 119,82 = 7,09$$

отже, конструкція є працездатною і може бути рекомендована до використання у виробництві.

Висновки. Модернізація корпусу зони завантаження одночерв'ячного екструдера шляхом інтеграції дозувальної заслінки дозволяє здійснювати регулювання подачі матеріалу, що підвищує технологічну гнучкість екструдера без потреби його заміни. Проведений інженерний аналіз у середовищі ANSYS Workbench підтвердив працездатність і надійність запропонованої конструкції, оскільки отримані розподіли температур, максимальні деформації і коефіцієнт запасу міцності конструкції свідчать про ефективність та безпечність роботи модернізованого вузла.

Перелік посилань

1. Sayyad Zahid Qamar. Introductory Chapter: Extrusion - From Gear Manufacturing to Production of Cereals // Extrusion of Metals, Polymers and Food Products. 2018. URL: <https://doi.org/10.5772/intechopen.7055>.
2. Мікульонок І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології: Практикум : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 174 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41037>.
3. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів: навч. посіб. / І. О. Мікульонок, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 200 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25367>.
4. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 293 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35084>.
5. Пат. Україна № 93288, МПК B29C47/10, B29C31/00. Завантажувальна секція одночерв'ячного екструдера / Мікульонок І.О. ; заявник і власник: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» ; № заявки u201404175 ; заявл. 17.04.2014 ; опубл. 25.09.2014, Бюл. № 18.
6. ANSYS Workbench | Engineering Simulation Software. URL: <https://www.ansys.com/products/structures/ansys-workbench> (дата звернення: 10.04.2025).

Дослідження модернізованого черв'яка одночерв'ячного екструдера

Цветков А.С., студ., Витвицький В.М., PhD, ас., Коцюба Н.М., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Під час роботи черв'ячного екструдера важливою умовою стабільності є рівномірна подача полімерного розплаву до формуючої головки. У стандартних конструкціях нерідко виникають зворотні потоки та пульсації тиску, що призводить до нестабільної товщини виробу та зниження якості продукції. Запропонована модернізація полягає у зміні геометрії витка черв'яка — поступовому зменшенні його ширини від зони завантаження до зони пластифікації. Це рішення забезпечує ефект ущільнення, знижує зворотний потік і стабілізує тиск подачі, що особливо важливо для виробництва плівки з рівномірною товщиною.

Ключові слова: модернізація, черв'як, черв'ячний екструдер, навивка.

Вступ. Екструзія є одним із провідних методів перероблення полімерних матеріалів, що дозволяє формувати вироби шляхом продавлювання розплаву через профільюючі елементи. Центральним вузлом екструзійної лінії виступає екструдер — обладнання, яке виконує функції транспортування, плавлення та формування полімерного матеріалу. Екструдери бувають одно- або двочерв'ячними, при цьому одночерв'ячні екструдери зберігають популярність завдяки простоті конструкції, надійності та енергоефективності. Вони широко застосовуються у виробництві труб, профілів, а також плівки — зокрема, рукавної [1–2].

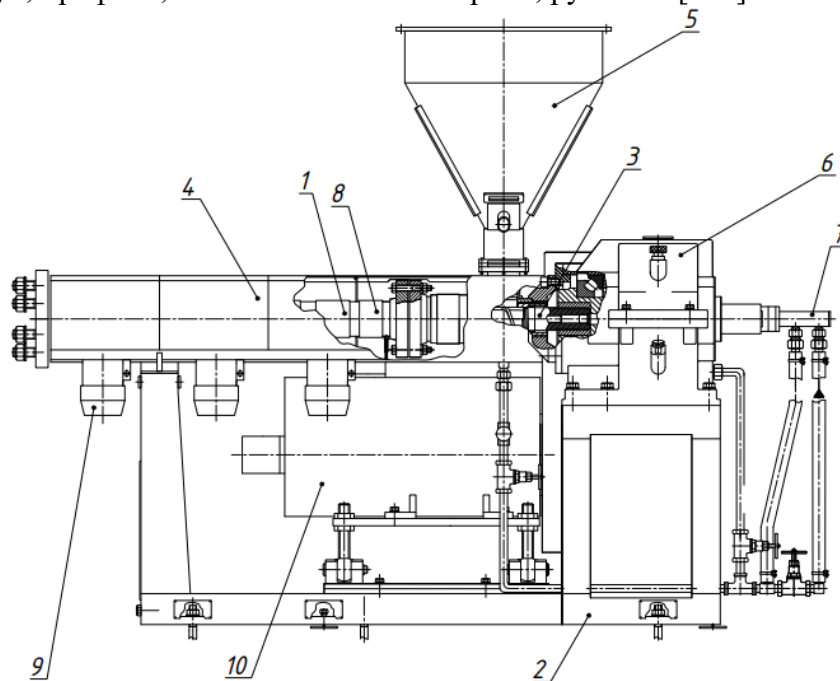


Рисунок 1 – Конструкція одно-черв'ячного екструдера:

1 – черв'як; 2 – редуктор; 3 – корпус; 4 – циліндр; 5 – бункер; 6 – втулка; 7 – кришка;
8 – пристрій охолодження; 9 – охолоджувач; 10 – електродвигун; 11 – рама

Одним із основних конструктивних елементів екструдера є черв'як, геометрія якого визначає ефективність подачі, ступінь ущільнення полімерного розплаву та стабільність потоку. Покращення його конструкції є ключем до підвищення продуктивності та якості виробу [3–4].

В роботі описано вдосконалену конструкцію черв'яка одночерв'ячного екструдера, яка забезпечує зниження зворотного потоку та стабілізацію подачі полімерного розплаву при екструзії плівкових матеріалів. В основу вдосконалення покладено ідею патенту EP3446850A1 [5], згідно з якою запропоновано потовщення ребра витка для стабілізації тиску.

Цю ідею адаптовано до одночерв'ячного екструдера шляхом плавного зменшення ширини витка по довжині гвинтової лінії, що створює ефект ущільнення в зоні подачі. Така форма дозволяє зменшити зворотний потік розплаву без ускладнення конструкції (рис. 2).

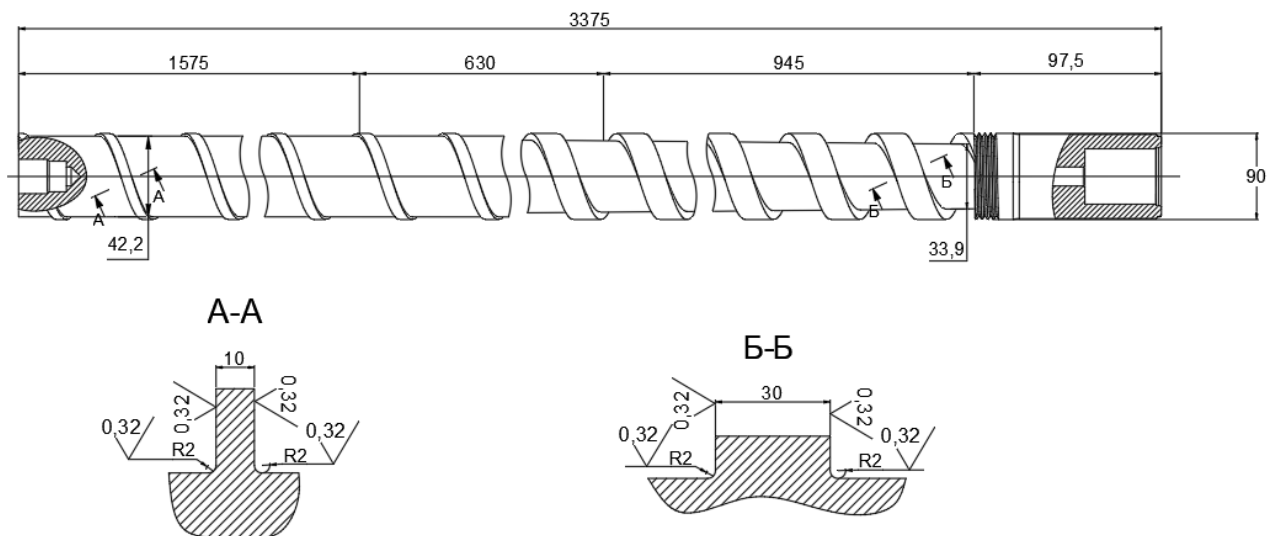


Рисунок 2 – Черв'як модернізований

Для підтвердження працездатності розробленої конструкції створено 3D-модель у програмному середовищі SolidWorks (рис. 3). З моделі видно, що на початку черв'яка профіль витка є значно ширшим, і далі він плавно звужується. Це забезпечує поступове ущільнення полімерного розплаву без різких гідродинамічних змін.

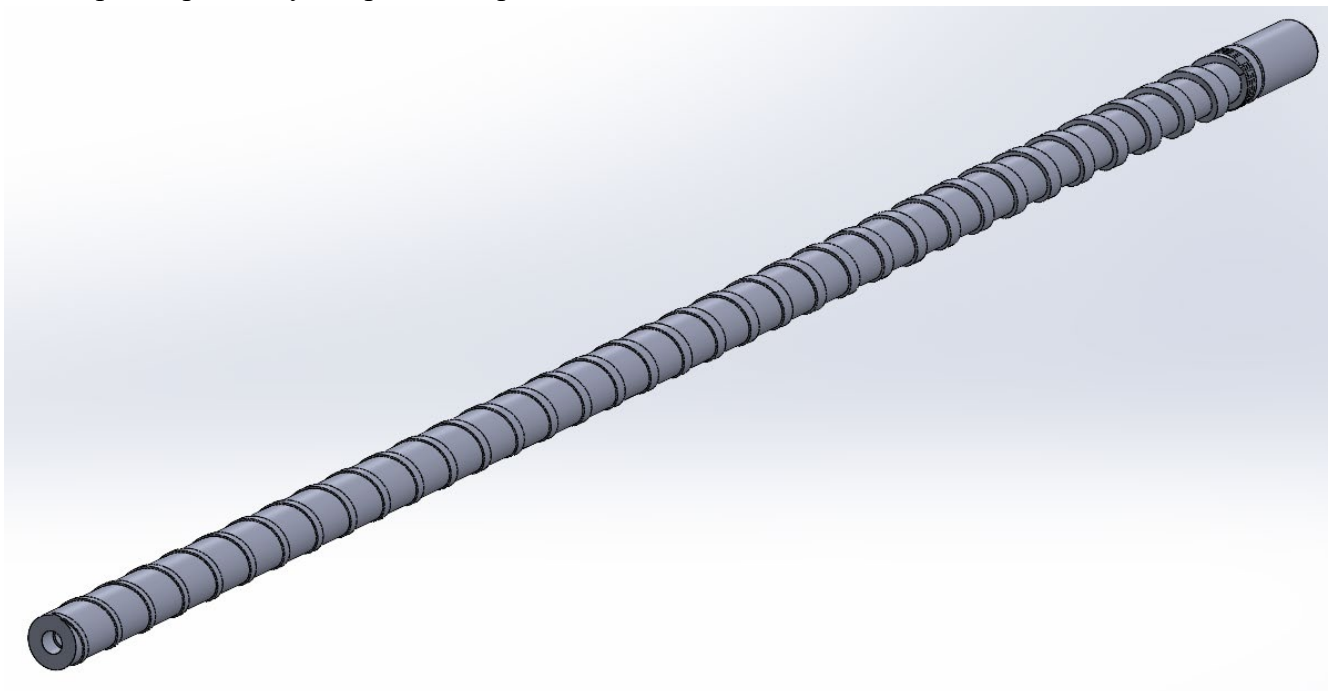


Рисунок 3 – 3D-модель черв'яка модернізованого

Для аналізу міцності конструкції проведено кінцево-елементне моделювання в ANSYS з такими умовами:

- хвостовик черв'яка жорстко закріплений;
- на накінечник вала прикладено зусилля 50000 Н (50 кН), прикладеної у напрямку осі конструкції, що імітує собою тиск від матеріалу;

- додатково прикладено крутний момент величиною 79500 Н·мм, що відповідає реальним умовам роботи черв'яка при обертанні під час процесу екструзії;
 - матеріал виконання черв'яка сталь 38Х2МЮА з границею текучості $[\sigma_T] = 835$ МПа.
- Результати моделювання (рис. 4) показали, що максимальні еквівалентні напруження $\sigma_{\max} = 79,96$ МПа. Запас міцності конструкції в такому випадку

$$n = [\sigma_T] / \sigma_{\max} = 835/79,96 = 10,44$$

що вказує на високий запас міцності та допустимість застосування конструкції.

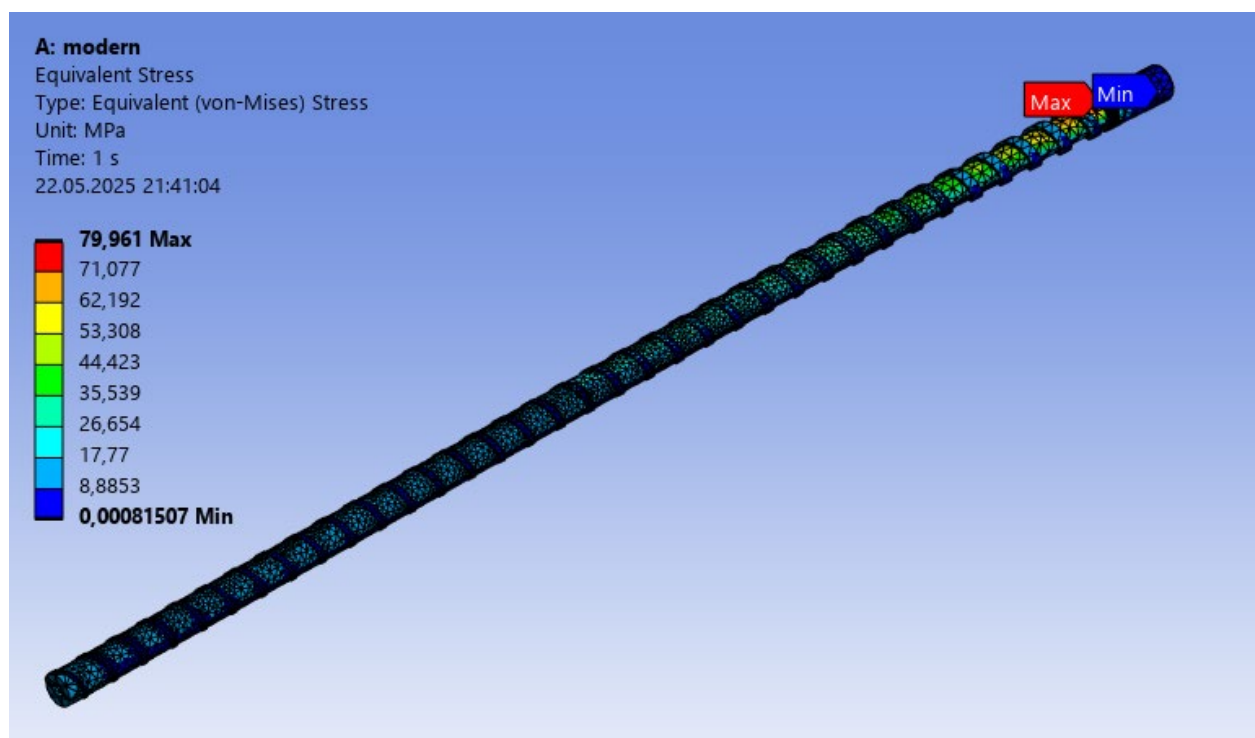


Рисунок 4 – Результати розрахунку напружень у черв'яку за Мізесом

Висновки. Запропонована модернізація черв'яка одночерв'ячного екструдера, у вигляді поступового зменшення ширини витка дозволила досягти покращеної стабільності подачі розплаву, зниження зворотного потоку, а також підвищення якості плівкової продукції. Конструкція має достатній запас міцності $n = 10,44$, що підтверджено проведеними розрахунками і може бути рекомендована для впровадження у виробництво.

Перелік посилань

1. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів: навч. посіб. / І. О. Мікульонюк та ін. – Київ: НТУУ «КПІ», 2015. – 200 с.
2. Sayyad Zahid Qamar. Extrusion of Metals, Polymers and Food Products. – IntechOpen, 2018. URL: <https://doi.org/10.5772/intechopen.7055>.
3. Мікульонюк І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів: навч. посіб. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/68766>.
4. Мікульонюк І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології: Практикум. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021.
5. EP3446850A1 – Extruder screw with thickened flight rib. European Patent Office, 2019.

Черв'ячний екструдер з підвищеною ефективністю

Орлов М.С., студ., Федоряченко Ю.А., студ., Карасьов В.С., студ., Герасименко Ю.Ю., PhD, ас.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Розглянуто удосконалену конструкцію черв'ячного екструдера, яка покращує процес змішування та транспортування полімерної сировини шляхом інтеграції обертових елементів безпосередньо в межах гвинтової нарізки черв'яка. Проведено числове моделювання в середовищі ANSYS, що дозволило оцінити міцнісні та деформаційні характеристики запропонованого рішення.

Ключові слова: черв'ячний екструдер, обертові елементи, переробка полімерів, модернізація, екструзія, черв'як, змішування.

Вступ. Екструзійні машини є незамінними в переробці полімерних матеріалів завдяки їх високій продуктивності, універсальності та здатності формувати вироби складної форми. Водночас класичні конструкції черв'ячних екструдерів мають обмеження щодо інтенсивності змішування, що негативно впливає на однорідність полімерної маси та якість кінцевої продукції [1].

З метою покращення ефективності переробки полімерів у робочому каналі запропоновано використання модернізованої конструкції черв'яка з інтегрованими обертовими елементами, що розміщені безпосередньо в межах гвинтової нарізки.

Удосконалена зона дозування екструдера складається з черв'яка 1 та обертових елементів 2, розташованих у межах гвинтової нарізки. Ці елементи мають поздовжню форму з циліндричними кінцевими частинами, які фіксуються в пазах гребенів сусідніх витків (рис. 1).

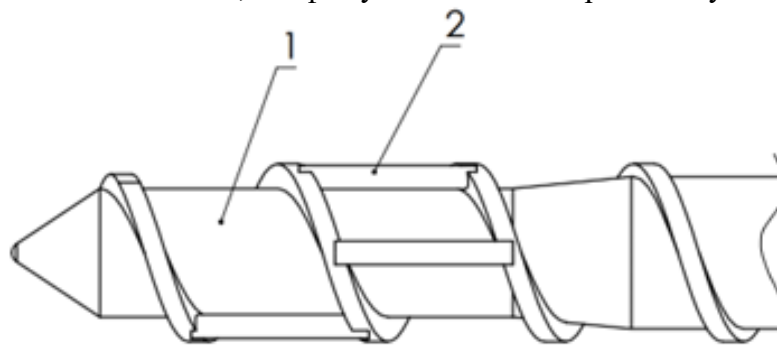


Рисунок 1 – Удосконалена зона дозування черв'яка за патентом України № 119024 [2]:
1 – черв'як; 2 – обертові елементи

Така конструкція дозволяє:

- зберігати безперервність гвинтової навивки;
- підтримувати стабільний тиск у робочій зоні;
- покращити змішування полімерної маси;
- запобігти прогину черв'яка;
- стабілізувати геометрію вихідного перерізу продукту.

Для перевірки працездатності конструкції проведено числове моделювання в програмному середовищі ANSYS. Під час моделювання враховувалися як статичні, так і температурні навантаження, що виникають під час експлуатації черв'яка.

У результаті проведених розрахунків отримано дані щодо еквівалентних напружень за Мізесом та осьових переміщень. Результати для базової та модернізованої моделі представлено на рис. 2-4.

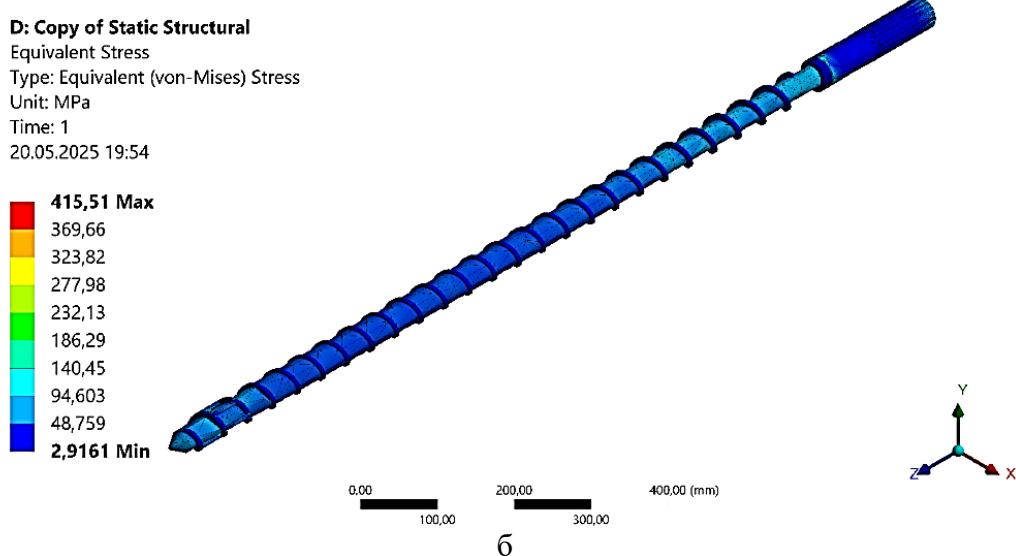
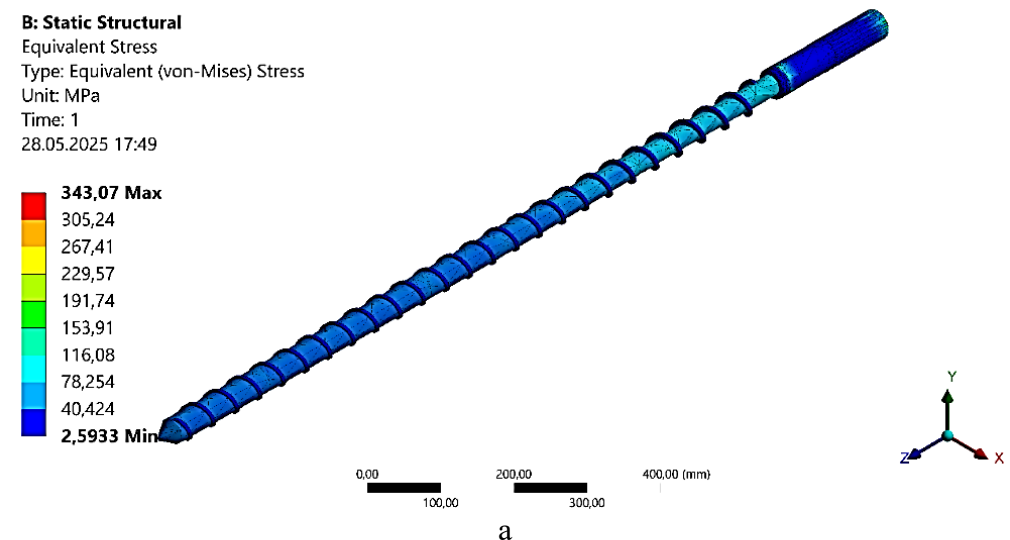


Рисунок 2 – Еквівалентні напруження за Мізесом:
 а – базової моделі черв'яка; б – модернізованого черв'яка

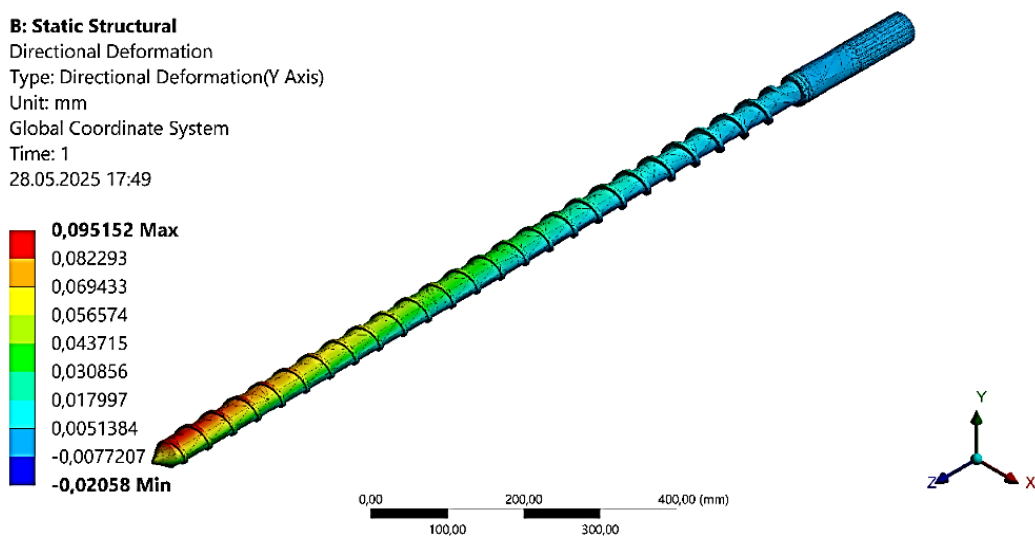


Рисунок 3 – Результати розрахунку переміщення базової моделі черв'яка

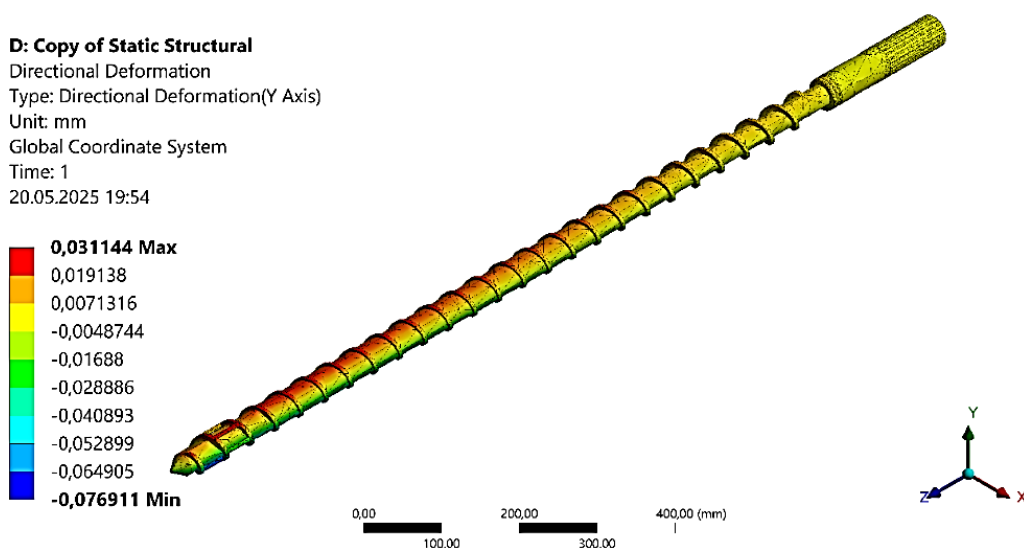


Рисунок 4 – Результати розрахунку переміщення модернізованого черв'яка

Результати аналізу показали, що максимальне переміщення модернізованої конструкції становить 0,031 мм, а напруження 415,51 МПа. Переміщення по осі Y залишаються в межах розрахованого зазору між гребенем черв'яка та корпусом, що свідчить про надійність конструкції.

Коефіцієнт запасу міцності базової конструкції становить 3.49, а модернізованої конструкції – 2,88. Хоча модернізована конструкція демонструє дещо менший запас міцності порівняно зі стандартною, її основне призначення – покращення процесу переробки полімерного матеріалу в робочій зоні екструдера. Це вдосконалення сприятиме підвищенню якості кінцевого продукту. З огляду на майже незмінні механіко-технічні характеристики основного робочого елемента машини, модернізацію можна вважати доцільною та рекомендованою до впровадження.

Висновки. Розглянуто удосконалене конструктивне виконання черв'ячного екструдера з обертовими елементами, що дозволяє значно покращити змішувальну здатність, якість переробки та стабільність геометрії продукту, що виготовляється, без необхідності застосування складних фіксуючих конструкцій. У результаті виконаної роботи створено тривимірну модель модернізованого черв'яка екструдера. За допомогою програмного забезпечення ANSYS проведено статичний розрахунок конструкції. З огляду на отримані результати, модернізація є доцільною і може бути рекомендована для впровадження в екструзійні установки, орієнтовані на переробку полімерних матеріалів з підвищеними вимогами до однорідності та якості продукту.

Перелік посилань

1. Мікульонюк І. О. Інноваційні змішувачі хімічної технології. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 132 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49568>.
2. Патент України №119024 У, МПК В29С 47/36, опубл. 12.05.2023.

Вплив багатостінних вуглецевих нанотрубок на характеристики течії полімерного розплаву при екструзії двошарових труб

Гурін Р.С. студ., Гондлях О.В., д.т.н., проф.,
Сокольський О.Л., д.т.н., проф., Щербина В.Ю., д.т.н., проф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Представлено результати чисельного моделювання процесу екструзії двошарових полімерних труб (поліпропілен/багатостінні вуглецеві нанотрубки та полівінілхлорид) з використанням програмного комплексу ANSYS Polyflow. Досліджено вплив концентрації багатостінних вуглецевих нанотрубок (БВНТ) у поліпропілені (ПП) на властивості розплаву та ключові параметри процесу екструзії. Встановлено, що збільшення вмісту БВНТ суттєво підвищує в'язкість композиту ПП/БВНТ, що призводить до значного зростання тиску в екструзійній голівці та впливає на перерозподіл товщин шарів екструдованої труби. Визначено, що оптимальна концентрація БВНТ становить 2 % мас., яка забезпечує збалансовані реологічні характеристики та стабільну геометрію труби.

Ключові слова: полімерні нанокомпозити, вуглецеві нанотрубки, екструзія, двошарова труба, поліпропілен, полівінілхлорид.

Вступ. Виробництво полімерних труб методом екструзії є важливою галуззю промисловості, що забезпечує потреби будівництва, водо- та газопостачання. Підвищення експлуатаційних характеристик таких труб можливе шляхом модифікації полімерів нанорозмірними наповнювачами, зокрема багатостінними вуглецевими нанотрубками (БВНТ), які значно покращують механічні, термічні та електричні властивості композитів [1]. Однак введення БВНТ суттєво змінює реологічну поведінку полімерних розплавів. Це ускладнює процес спільної екструзії багатошарових виробів, особливо через явище в'язкісної інкапсуляції, коли компоненти з різною в'язкістю взаємодіють непередбачуваним чином [2, 3]. Тому дослідження впливу БВНТ на параметри течії та оптимізація процесу екструзії багатошарових труб є актуальною науково-технічною задачею.

Метою даної роботи було дослідження впливу концентрації БВНТ в поліпропілені (ПП) на характеристики течії двошарового полімерного розплаву (ПП/БВНТ та полівінілхлорид – ПВХ) в екструзійній голівці та визначення оптимальної концентрації БВНТ. Моделювання процесу екструзії проводили в програмному комплексі ANSYS Polyflow у двовимірній вісесиметричній постановці. Поведінку розплавів ПП з різним вмістом БВНТ (0, 1, 2, 4 та 8 % мас.) та ПВХ описували моделлю Bird-Carreau [4]:

$$\eta(\dot{\gamma}) = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty}) \left[1 + (\lambda \dot{\gamma})^a \right]^{\frac{1-n}{a}}, \quad (1)$$

де η_0 – в'язкість при нульовій швидкості зсуву; η_{∞} – в'язкість при нескінченній швидкості зсуву; λ – час релаксації; $\dot{\gamma}$ – швидкість зсуву; a, n – параметри моделі, що залежать від концентрації БВНТ. Чисельне моделювання показало значний вплив концентрації БВНТ на параметри екструзії. Зі збільшенням вмісту БВНТ в ПП в'язкість композиту ПП/БВНТ значно зростає. Це призводить до перерозподілу товщин шарів в екструдованій трубі: товщина шару ПП/БВНТ зменшується (з 2,49 мм при 0% БВНТ до 1,70 мм при 8% БВНТ), а товщина шару ПВХ відповідно збільшується (з 2,50 мм до 3,45 мм) при відносно стабільній загальній товщині труби (близько 5 мм) (рис. 1а). Максимальний тиск в екструзійній голівці експоненційно зростає з 91,3 кПа (0% БВНТ) до 28,5 МПа (8% БВНТ) (рис. 1б).

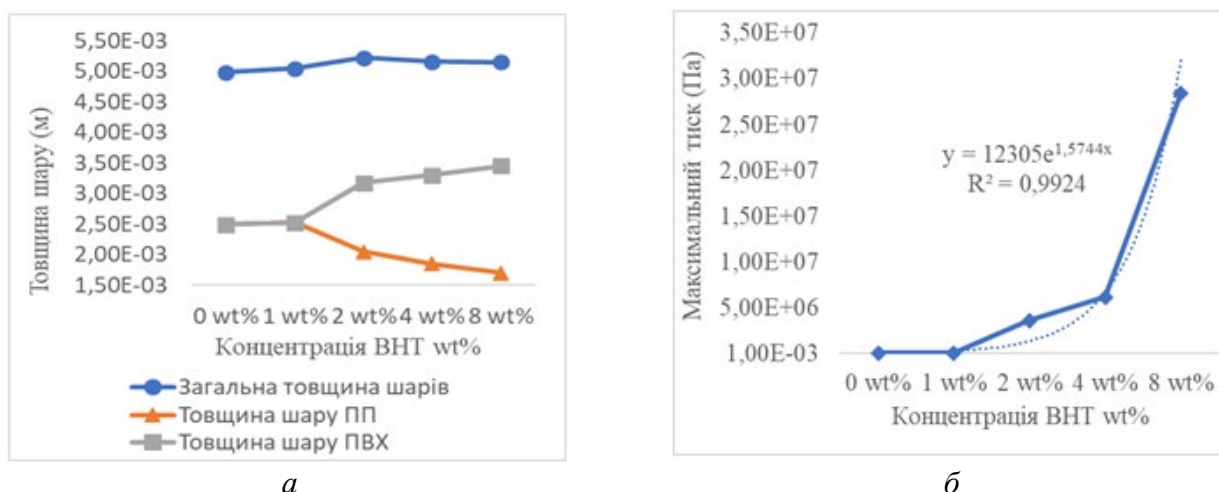


Рисунок 1 – Залежність параметрів екструзії від концентрації БНТ: а – товщини шарів ПП/БНТ та ПВХ в екструдаті; б – максимальний тиск в голівці

Оптимальною визначено концентрацію БНТ 2 % мас. При цій концентрації загальна товщина труби становить 5,23 мм (шар ПП/БНТ – 2,05 мм, шар ПВХ – 3,18 мм), тиск в голівці є помірним (3,63 МПа), а екструдат залишається прямим з мінімальним викривленням лінії розділу шарів. При вищих концентраціях (4% та 8%) спостерігається значне витончення шару ПП/БНТ, помітне викривлення лінії розділу шарів та вигин екструдату. Це явище пояснюється ефектом в'язкісної інкапсуляції, коли менш в'язкий ПВХ частково витісняє або огортає більш в'язкий композит ПП/БНТ, що узгоджується з даними робіт [2–5]. Навіть при концентрації 8 % мас. шар ПП/БНТ зберігає цілісність, однак його товщина стає недостатньою для практичного застосування.

Висновки. Введення багатостінних вуглецевих нанотрубок (БНТ) в поліпропілен суттєво змінює реологію розплаву, тиск в екструзійній голівці та розподіл товщин шарів у двошарових трубах ПП/БНТ-ПВХ. Зі зростанням концентрації БНТ шар ПП/БНТ стоншується, а шар ПВХ товщає через збільшення в'язкості ПП/БНТ та ефект в'язкісної інкапсуляції. Оптимальною є концентрація БНТ 2 % мас., що забезпечує збалансовану течію, прийнятний тиск (3,63 МПа) та стабільну геометрію труби (загальна товщина 5,23 мм, шар ПП/БНТ 2,05 мм) з прямим екструдатом. Результати дозволяють оптимізувати склад нанокомпозиту та параметри екструзії.

Дослідження виконано в рамках договору про співпрацю між кафедрою ХПСМ ІХФ НТУУ «Ім. Ігоря Сікорського», Київ та технічним університетом Кайзерслаутерн-Ландау, Кайзерслаутерн (Німеччина) по міжнародній програмі Леонарда Ейлера (DAAD).

Перелік посилань

1. Pötschke P., Fornes T. D., Paul D. R. Rheological behavior of multiwalled carbon nanotube/polycarbonate composites. *Polymer*. 2002. Vol. 43, No. 11. P. 3247–3255. URL: [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(02\)00151-9](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(02)00151-9).
2. Huang R. et al. Co-Extrusion Layer Multiplication of Rheologically Mismatched Polymers: A Novel Processing Route. *International Polymer Processing*. 2015. Vol. 30, No. 3. P. 317–330. URL: <https://doi.org/10.3139/217.2955>.
3. Borzacchiello D., Leriche E., Blottière B., Guillet J. On the mechanism of viscoelastic encapsulation of fluid layers in polymer coextrusion. *Journal of Rheology*. 2014. Vol. 58, No. 2. P. 493–512. URL: <https://doi.org/10.1122/1.4865817>.
4. Thiébaud F., Gelin J.C. Characterization of rheological behaviors of polypropylene / carbon nanotubes composites and modeling their flow in a twin screw mixer. *Composites Science and Technology*. 2010. Vol. 70, No. 4. P. 647. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2009.12.020>.
5. Anderson P. D., Dooley J., Meijer H. E. H. Viscoelastic Effects in Multilayer Polymer Extrusion. *Applied Rheology*. 2006. Vol. 16, No. 4. P. 198–205. URL: <https://doi.org/10.1515/arh-2006-0014>.

Дослідження умов фіксації вуглецевих нанотрубок у полімерній підкладці при холодному газодинамічному напыленні

Гондляр О.В., д.т.н., проф., Янковський І. О., студ., Мосійчук О. А., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

У роботі досліджено механізм фіксації одностінних вуглецевих нанотрубок у полімерній підкладці з полієфірефіркетону в умовах холодного газодинамічного напылення. Визначено критичну швидкість нанотрубки, за якої забезпечується її надійна фіксація в полімерному масиві. Показано, що фіксація нанотрубки зумовлена сукупною дією локального нагріву та зворотної термопластичної деформації полімеру, що сприяє її механічному закріпленню. Представлені результати дозволяють краще зрозуміти особливості взаємодії наноматеріалів із полімерними підкладками та можуть бути корисними для оптимізації процесів холодного напылення.

Ключові слова: *холодне газодинамічне напылення, вуглецеві нанотрубки, полієфірефіркетон, метод скінченних елементів.*

Вступ. Упродовж останніх років спостерігається зростаючий інтерес до технологій формування функціональних покриттів із підвищеними експлуатаційними властивостями. Серед них особливу увагу привертає метод холодного газодинамічного напылення (ХГН), що забезпечує формування покриття за рахунок кінетичної енергії частинок без їх плавлення [1].

Одним із ключових параметрів процесу ХГН є критична швидкість [2], за якої частинка здатна надійно закріпитися на підкладці. Вивчення цього явища у випадку систем «ВНТ–полімер» ускладнюється через мікро- та наномасштабні особливості взаємодії та труднощі експериментального спостереження. У таких умовах чисельне моделювання є ефективним засобом аналізу та оптимізації параметрів напылення.

Основна частина. У межах дослідження створено тривимірну чисельну модель у середовищі ABAQUS/Explicit (рис. 1) для аналізу взаємодії вуглецевих нанотрубок (ВНТ) з полімерною підкладкою з полієфірефіркетону (ПЕЕК) під час високошвидкісного удару. Основною метою є визначення критичної швидкості, необхідної для надійного закріплення нанотрубок на поверхні полімеру в умовах ХГН.

У моделюванні застосовано модель одностінної вуглецевої нанотрубки типу «zigzag» (5,0), яка містить 100 атомів вуглецю. Її основні геометричні характеристики визначено на основі аналітичних залежностей, наведених у джерелах [3–5]. Геометрію полімерної підкладки задано у вигляді кубічної пластини з параметрами, підібраними для мінімізації граничних ефектів і зменшення коливань, що виникають під час динамічного навантаження.

Для врахування теплових процесів застосовано динамічний зв'язаний термонапружений аналіз. Дискретизація геометрії (рис. 2) ВНТ та підкладки виконана з 345 та 249900 об'ємних елементів C3D8RT відповідно. У зонах інтенсивної деформації використано згущену сітку для досягнення вищої точності та зменшення обчислювального ресурсу.

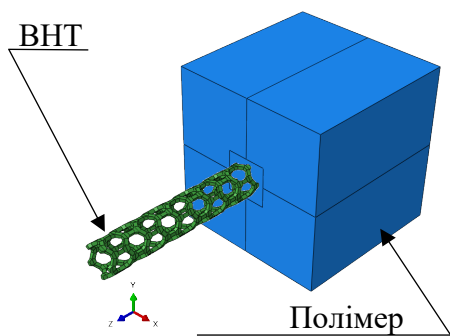


Рисунок 1 – Розрахункова схема ВНТ та полімерної підкладки ПЕЕК

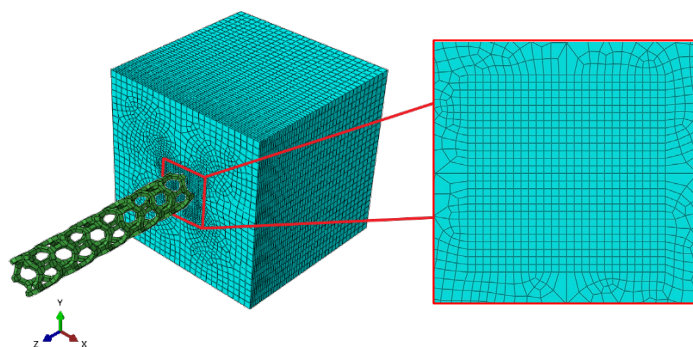


Рисунок 2 – Дискретно-континуальна модель ВНТ та полімерної підкладки ПЕЕК

Удар вуглецевої нанотрубки розглядався як перпендикулярний до поверхні полімерної підкладки. Взаємодія включала тангенціальну складову, визначену коефіцієнтом тертя (0.3), та нормальну складову, що задає жорсткий контакт.

Початкові температури становили 373 K для підкладки та 296 K для ВНТ. Швидкість ВНТ змінювалася від 600 до 1000 м/с. Для імітації нескінченної підкладки застосовано умови симетрії по всіх координатних напрямках. Рух ВНТ було обмежено вздовж осі X та Y.

Для аналізу еволюції залишкових напружень побудовано сукупні муарові картини напружень за Мізесом (рис. 3) в три ключові моменти часу: $t = 0,3 \times 10^{-12}$ с, $t = 0,5 \times 10^{-12}$ с, $t = 2 \times 10^{-12}$ с. На кожній картині представлено чверті зони контакту ВНТ з поверхнею полімеру, що відповідають різним швидкостям удару: 600, 800, 900 та 1000 м/с. Це дозволило провести пряме порівняння впливу швидкості частинки на формування залишкових напружень.

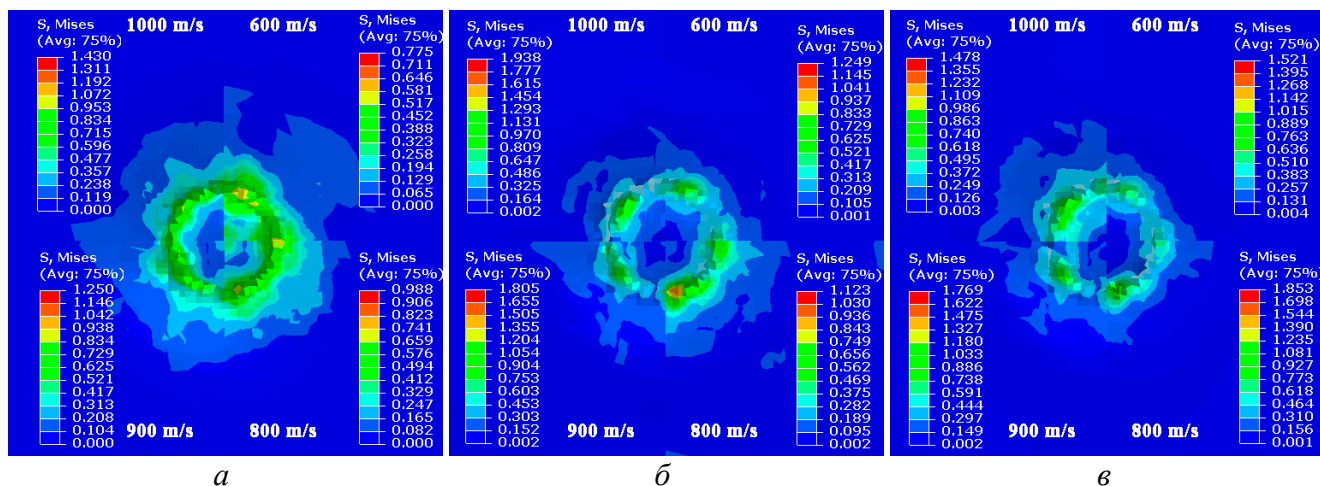


Рисунок 3 – Розподіл напружень за Мізесом (ГПа) у залежності від початкової швидкості ВНТ у часові проміжки моделювання: $a - t = 0,3 \times 10^{-12}$ с; $b - t = 0,5 \times 10^{-12}$ с; $c - t = 2 \times 10^{-12}$ с

Замість аналізу максимальних значень доцільно орієнтуватися на зону стабільних залишкових напружень, яка на візуалізації відповідає зеленій ділянці. Вона характеризує проміжні рівні напружень і слугує індикатором поширення пластичної деформації.

Результати аналізу свідчать про те, що зі зростанням швидкості удару площа цієї зони помітно збільшується, що вказує на посилення процесів накопичення залишкових напружень та глибше проникнення частинки в підкладку.

На рисунку 4 представлено просторовий розподіл температури залежно від початкової швидкості вуглецевої нанотрубки (600–1000 м/с) у трьох репрезентативних моментах часу моделювання.

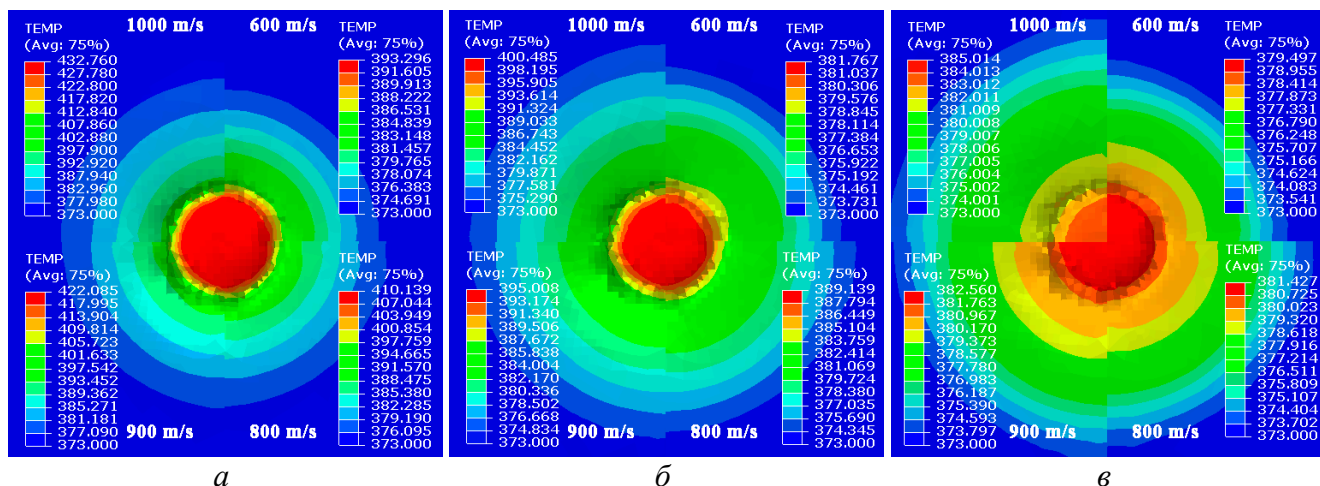


Рисунок 4 – Розподіл температури (K) у залежності від початкової швидкості ВНТ у часові проміжки моделювання: $a - t = 0,3 \times 10^{-12}$ с; $b - t = 0,5 \times 10^{-12}$ с; $c - t = 2 \times 10^{-12}$ с

Для всіх випадків характерне утворення локалізованої області підвищеної температури навколо зони контакту нанотрубки з підкладкою. Наявна виражена залежність між швидкістю ВНТ та підвищенням температури: при швидкості 1000 м/с температура в зоні контакту досягає 432 К, тоді як при 600 м/с – лише 393 К. Після досягнення температурного максимуму в зоні удару спостерігається різке зниження температури, зумовлене інтенсивним тепловідводом у периферійні області підкладки.

За результатами чисельного моделювання виявлено, що ефективна фіксація вуглецевої нанотрубки на поверхні полімерної підкладки з полієфірефіркетону досягається за умови ударної швидкості ВНТ 1000 м/с (рис. 5), що виникає внаслідок сукупної дії кількох фізичних чинників.

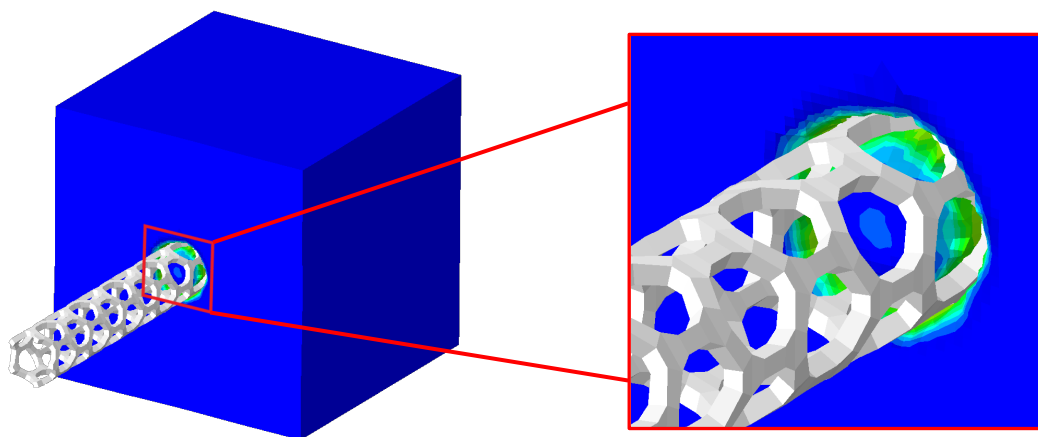


Рисунок 5. Картина зафіксованої CNT в полімерному масиві ПEEK внаслідок ударної взаємодії при швидкості 1000 м/с

При швидкості удару 1000 м/с спостерігається максимальна глибина проникнення ВНТ у поверхневий шар полімеру. Одночасно температура в зоні контакту підвищується до 432 К, що перевищує температуру склування ПEEK (400 К). У таких умовах полімер переходить у високоеластичний стан із підвищеною здатністю до пластичної деформації, що сприяє частковому охопленню нанотрубки. Локальне термічне розширення додатково підсилює механічне захоплення ВНТ у масиві. Після удару швидке охолодження забезпечує повернення ПEEK у жорсткий стан, фіксуючи нанотрубку в структурі.

Висновки. Стабільна фіксація ВНТ в полімерному масиві досягається при швидкості 1000 м/с. Механізм закріплення ВНТ обумовлений поєднанням трьох ключових чинників: достатньою глибиною проникнення, тимчасовим розм'якшенням полімеру через локальне підвищення температури та відновленням жорсткості після охолодження. Взаємодія цих ефектів забезпечує надійну механічну фіксацію нанотрубки в підкладці.

Перелік посилань

1. The Cold Spray Materials Deposition Process : Fundamentals and applications / ed. by V. K. Champagne. Cambridge : Elsevier Science, 2007. 376 p. ISBN: 978-1-84569-181-3.
2. Papyrin A., Kosarev V., Klinkov S., et al. Cold Spray Technology. Amsterdam. Elsevier Science, 2006. 336 p.
3. Scarpa F., Adhikari S. A mechanical equivalence for Poisson's ratio and thickness of C–C bonds in single wall carbon nanotubes. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2008. Vol. 41, Issue. 8. P. 085306. URL: <https://doi.org/10.1088/0022-3727/41/8/085306>.
4. Modeling the Mechanisms of Fracture Formation in Nanomodified Polymers / A. V. Gondliakh et al. 2020 IEEE 10th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP), Sumy, Ukraine, 9–13 November 2020. URL: <https://doi.org/10.1109/nap51477.2020.9309637>.
5. Gondliakh O., Mamchur O. Parameters of crack resistance of nanoreinforced polymeric engineering products. *Proceedings of the NTUU "Igor Sikorsky KPI". Series: Chemical engineering, ecology and resource saving*. 2022. № 4. С. 9–20. URL: <https://doi.org/10.20535/2617-9741.4.2022.269740>.

Вплив рівня наномодифікації полімеру на міцність кінцевого виробу

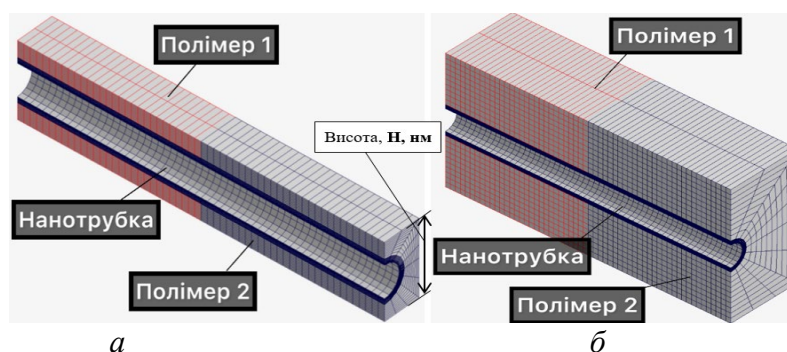
Безверхий І. О., студ., Гондлях О. В., д.т.н., проф., Чемерис А.О., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Розглянуто вплив рівня наномодифікації полімеру на міцність кінцевого виробу при виготовленні багатошарових плівок. У межах дослідницької роботи проаналізовано літературні та патентні джерела, в яких відображено активну зацікавленість закордонних вчених у дослідженні багатошарових нанокомпозитів. Отримані, за допомогою математичного моделювання процесу в середовищі APROKS, результати показують доцільність використання наномодифікованого полімеру у середньому шарі плівки для підвищення міцності. Запропоновані технічні рішення сприяють зменшенню енерговитрат та збільшенню ефективності технологічного процесу, а також покращенню механічних характеристик кінцевого виробу.

Ключові слова: багатошарова плівка, наномодифікований полімер, екструдер, коекструзія, міцність.

Вступ. Сучасна полімерна промисловість активно впроваджує нанодобавки до термопластів для покращення міцності, термостійкості та бар'єрних властивостей продукції. У багатошарових плівках наноаповнювачі концентрують у функціональному шарі, що знижує навантаження на зовнішні. Це стимулює інтерес до використання нанотехнологій у коекструзії, яка дозволяє поєднувати шари з різними властивостями. Дослідження [1-4] свідчать про зростання уваги до впливу наночастинок на переробку полімерів і роботу обладнання. Водночас бракує технічних рішень щодо впровадження таких матеріалів у виробництво гнучкої плівки.

Основна частина. Для аналізу впливу наномодифікації середнього шару тришарової полімерної плівки на міцність застосовано числове моделювання методом скінченних елементів (МСЕ) у середовищі APROKS, розробленому на кафедрі хімічного, полімерного та силікатного машинобудування НТУУ «КПІ». Досліджено елементарний об'єм плівки з вуглецевою нанотрубкою (ВНТ) на межі двох полімерних шарів на основі ПЕВГ (рис. 1). Це дозволяє оцінити вплив структури матеріалу та рівня наномодифікації на деформацію й руйнування. Розрахунки виконано для чотирьох висот зразка H (0,8; 1; 1,5; 2 нм), основне порівняння — між крайніми значеннями. Геометрія ВНТ залишалась сталою, змінювалися розміри полімерних шарів, що дозволило варіювати коефіцієнт заповнення. Відповідні масові коефіцієнти армування K_m становили: 0,0821%, 0,0189%, 0,0051% та 0,0025%.



а – зразок із $H = 0,8$ нм та $K_{m1} = 0,0821\%$; б – зразок із $H = 2$ нм та $K_{m4} = 0,0025\%$
Рисунок 1 – Скінченно-елементні моделі елементарного об'єму (розрахункова схема)

Моделювання включає поступове навантаження зразка [5] в режимі зсуву, при якому верхній і нижній полімерні шари зміщуються в протилежних напрямках на значення U (вимушене зміщення), що вимірюється в нм (рис. 2). Таким чином створюються реалістичні умови, що імітують деструкцію плівки в умовах експлуатації.

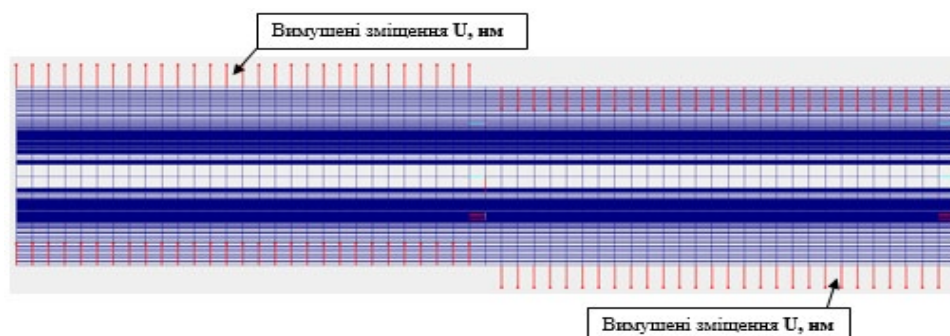
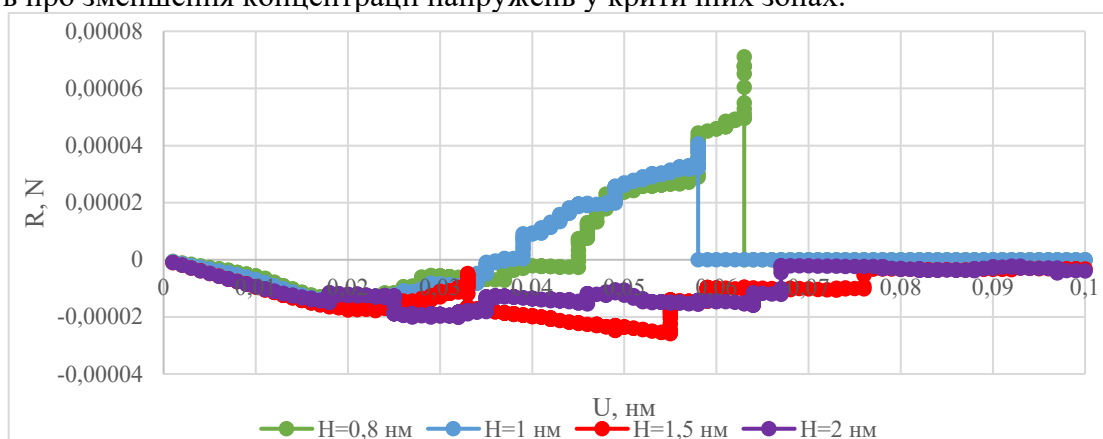


Рисунок 2 – Розрахункова схема з умовами навантаження на зразок

Для зразка з $K_{m1} = 0,0821\%$, утворення тріщин зсуву відбувається у зонах прикладення зміщень — на верхній і нижній межах. Після їх появи спостерігається перерозподіл напружень, що призводить до формування вертикальних тріщин і, зрештою, лавиноподібної втрати несучої здатності зразка при $U = 0,063$ нм. Натомість у зразка з мінімальним армуванням ($K_{m4} = 0,0025\%$) руйнування починається не на межах, а між двома сусідніми нанотрубками в об'ємі полімеру. Зона зсуву розвивається вздовж зразка і спричиняє повну втрату міцності вже при $U = 0,032$ нм — майже вдвічі менше, ніж у більш армованого аналога. Таким чином, чітко простежується зв'язок між підвищенням концентрації нанотрубок та стійкістю плівки до деструкції. На основі цього побудований графік залежності реакцій R, N у вузлах від вимушених зміщень U (рис. 3), який демонструє, що максимальні реакції спостерігаються при більшому вмісті ВНТ. Крім того, зразки з вищим коефіцієнтом заповнення мають більш стабільний характер зміни напружень, що свідчить про зменшення концентрації напружень у критичних зонах.

Рисунок 3 – Графік залежності реакцій R, N , від рівня вимушених зміщень зсуву U , нм

Процес руйнування проходить у чотири основні етапи (на прикладі першого та останнього зразка):

1. Зародження зон локального напруження — на ділянках, де прикладено переміщення (рис. 4).

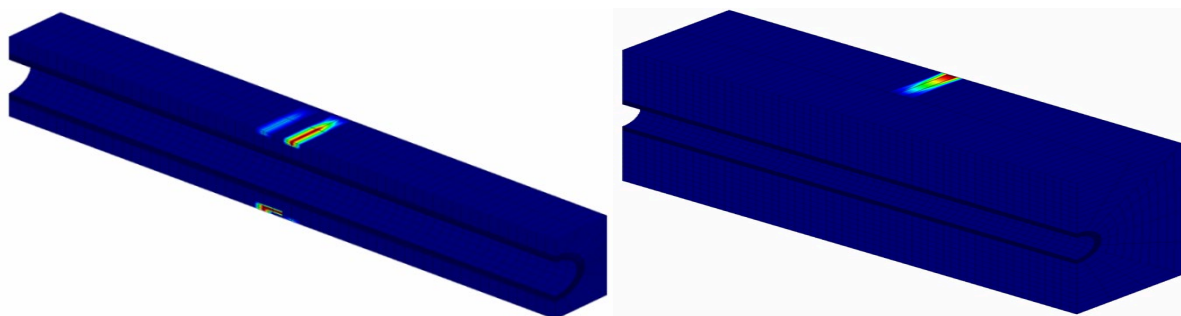


Рисунок 4 – Початок руйнування зразків

2. Формування тріщин зсуву — спостерігається поступове поширення по висоті полімерного шару;
3. Відривні процеси — з'являються вертикальні тріщини, перпендикулярні до осі нанотрубки;
4. Втрата несучої здатності — відшарування нанотрубки або руйнування зони контакту «нанотрубка-полімер» (рис. 5).

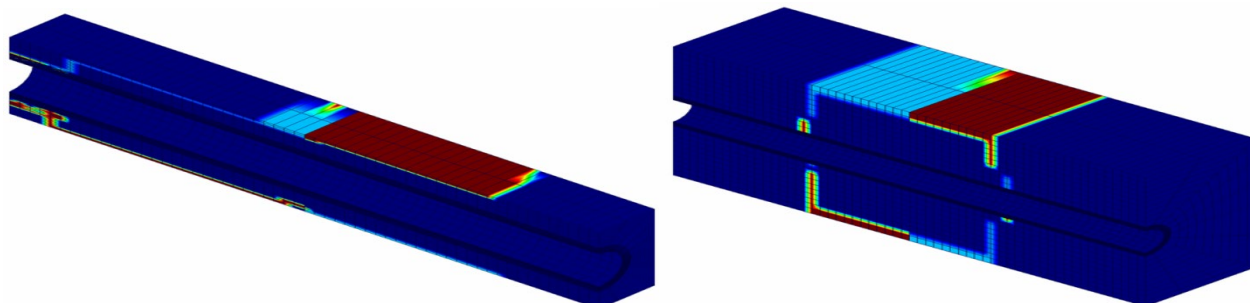


Рисунок 5 – Повне руйнування зразків

Висновки. У ході числового моделювання впливу концентрації вуглецевих нанотрубок у середньому шарі тришарової полімерної плівки на її міцність було встановлено, що рівень наномодифікації має принциповий вплив на характер напружено-деформованого стану матеріалу та механізм його руйнування. Зразки з вищим коефіцієнтом заповнення демонструють стійкіший опір зсувному навантаженню та мають більш прогнозовану траєкторію руйнування, в якій нанотрубки фактично виконують роль мікроармування, перерозподіляючи еквівалентні напруження по структурі. Навпаки, при низькому вмісті нанотрубок утворюються зони концентрації напружень між полімерними ділянками, що прискорює процес деградації та знижує загальну несучу здатність плівки. Залежність рівня несучої здатності від концентрації нанотрубок виявилася нелінійною, з різницею у допустимому зсуві більш ніж у два рази між крайніми варіантами армування ($U = 0,063$ нм проти $U = 0,032$ нм). Це підкреслює важливість точного підбору вмісту нанонаповнювача при розробці плівкових композитів. Ці висновки відкривають широкі перспективи для хімічної промисловості, зокрема у розробці пакувальних матеріалів з підвищеною міцністю та бар'єрними властивостями, створенні захисних покриттів для хімічно активних речовин, а також у виробництві мембран для фільтрації та сепарації, де стійкість до механічних навантажень та довговічність є критично важливими. Можливість контролювати змінювати механічні властивості полімерних плівок за допомогою наномодифікації дозволяє оптимізувати матеріали для специфічних застосувань, зменшуючи витрати та підвищуючи безпеку в хімічних виробничих процесах.

Перелік посилань

1. Langhe D., Pontin M. Manufacturing and Novel Applications of Multilayer Polymer Films. *William Andrew Publishing*. 2016. P. 1–15. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-37125-4.00001-0>.
2. Li Z., Olah A., Baer E. Micro- and nano-layered processing of new polymeric systems. *Progress in Polymer Science*. 2020. Vol. 102. P. 101210. URL: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2020.101210>.
3. Agassant J.-F., Demay Y. Investigation of the Polymer Coextrusion Process: A Review. *Polymers*. 2022. Vol. 14, no. 7. P. 1309. URL: <https://doi.org/10.3390/polym14071309>.
4. Vasile C. Polymeric Nanocomposites and Nanocoatings for Food Packaging: A Review. *Materials*. 2018. Vol. 11, no. 10. P. 1834. URL: <https://doi.org/10.3390/ma11101834>.
5. Gondlyakh A. V., Sokolskiy A. L., Kolosov A. E., Chemeris A. O., Shcherbina V. Y., Antonyuk S. I. Modeling the mechanisms of fracture formation in nanomodified polymers. *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Nanomaterials: Applications & Properties (NAP)*, Sumy, Ukraine, August 23–27, 2020. Sumy State University, P. 02TM06-1–02TM06-7. URL: <https://doi.org/10.1109/NAP51477.2020.9309637>.

Оцінка фільтраційних властивостей осаду у різнодисперсних модельних системах

Мосійчук О. А., студ., Чемерис А.О., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

У роботі досліджено параметр пористості фільтраційного осаду, що формується під час газопропускну фільтрації водних суспензій із твердими сферичними частинками різного типорозміру через тканинно-мембранний фільтр. В якості модельних матеріалів використано скляні мікрочастинки з дослідженим гранулометричним складом. Експерименти проведено за різних значень тиску, розраховано параметри залишкової вологи та визначено середню пористість осаду. Отримані результати проаналізовано з урахуванням типу системи та морфології частинок. Наведені результати досліджень отримані на лабораторній базі технічного університету міста Кайзерслаутерн (Німеччина) за програмою міжнародного наукового співробітництва DAAD.

Ключові слова: фільтрація, фільтраційний осад, залишкова волога, пористість осаду, мікропористе мембранне середовище.

Вступ. Процес фільтрації є ключовим етапом розділення фаз у багатьох галузях промисловості. Ефективність цього процесу визначається низкою параметрів, серед яких важливе місце займає вологість осаду. Повне видалення рідини з осаду є складним завданням, що обумовлено стисливістю частинок та закупорюванням пор фільтрувального середовища. Одним із фундаментальних факторів, що впливають на залишкову вологість та опір фільтрації, є пористість осаду. Розуміння взаємозв'язку між стисливістю частинок та пористістю осаду є важливим для оптимізації процесів фільтрації та підвищення їхньої ефективності. Недостатня кількість досліджень, що порівнюють вплив стисливих та нестисливих систем на пористість осаду за однакових умов, підкреслює актуальність вивчення цього аспекту для покращення технологій розділення фаз. У процесі фільтрації, де рідина або газ протікають через пористе середовище, важливу роль відіграє структура осаду, що формується [1]. Розмір і форма частинок, їхня здатність до стиснення, а також структура пор фільтра безпосередньо визначають пористість осаду та його здатність утримувати рідину [2]. Розуміння цих взаємозв'язків є критично важливим для оптимізації процесів фільтрації та розробки ефективних технологічних рішень.

Вихідні матеріали. Під час дослідницької роботи, в якості фільтруючого середовища використовувалися волоконний матеріал Junker Filter 416 і мікропориста мембрана MicroPES 12F. У поздовжньому напрямку волоконний матеріал складався з поліпропіленового мультифіламентного волокна, а в поперечному — штапельного, що забезпечувало необхідну структурну міцність. В якості твердої системи, для суспензії 25% концентрації, використовувалися скляні кульки GK виробника Potter-Ballotini у типорозмірах 2400 (розмір частинок 0-20 мкм) і 5000 (розмір до 120 мкм). У якості рідини використовувалась демінералізована вода. За результатами гранулометричного аналізу, проведеному на базі технічного університету міста Кайзерслаутерн на гранулометричному аналізаторі LA-950 (Horiba), що ґрунтується на методі лазерного розсіювання, переважна кількість частинок має розмір близько 10 мкм для типу 5000 і 70 мкм для типу 2400.

Фільтраційний експеримент. Для основних експериментів фільтрації використовувалось лабораторне устаткування на базі директиви VDI 2762 [3] з модифікаціями, описаними у роботі [4]. Фільтрація здійснювалась в герметичному корпусі під постійним тиском від початкового значення 0.8 бар до 4 бар з кроком 0.2, який регулюється клапаном подачі стисненого газу, що забезпечує рівномірний процес розділення рідкої та твердої фаз. Для запобігання осаду частинок, суспензія заливалась у корпус і негайно герметизувалась. По завершенню фільтраційного процесу для подальшого аналізу вимірювалась висота осаду та маса у вологому й термічно осушеному станах. Для обробки результатів та розрахунку пористості осаду ε , згідно опорних директив по експерименту [3] та базових рівнянь моделі Дарсі [1] була розрахована залишкова волога RF :

$$\varepsilon = \frac{V_H}{V_K}; \quad RF = \frac{M_L}{M_{s,f}}$$

де V_H – об'єм пустот в осаді; V_K – загальний об'єм осаду; M_L – маса рідини, що залишилася в осаді на фільтрі після закінчення часу зневоднення; $M_{s,f}$ – маса вологого осаду; $M_{s,tr}$ – маса висушеного осаду.

Результати. На рисунках 2 та 3 представлені графіки визначення пористості фільтраційного осаду, сформованого з частинок двох розлянутих фракцій — GK2400 та GK5000. Згідно з даними на рисунку 2, спостерігається чітка залежність між залишковою вологістю та пористістю осаду за якої при однаковій залишковій волозі осад із більших частинок (GK2400) демонструє значно вищу пористість, ніж осад з дрібнодисперсного матеріалу (GK5000). Це пояснюється тим, що великі частинки утворюють більш відкриту, структурно рихлу матрицю з більшою кількістю міжчастинкових пустот.

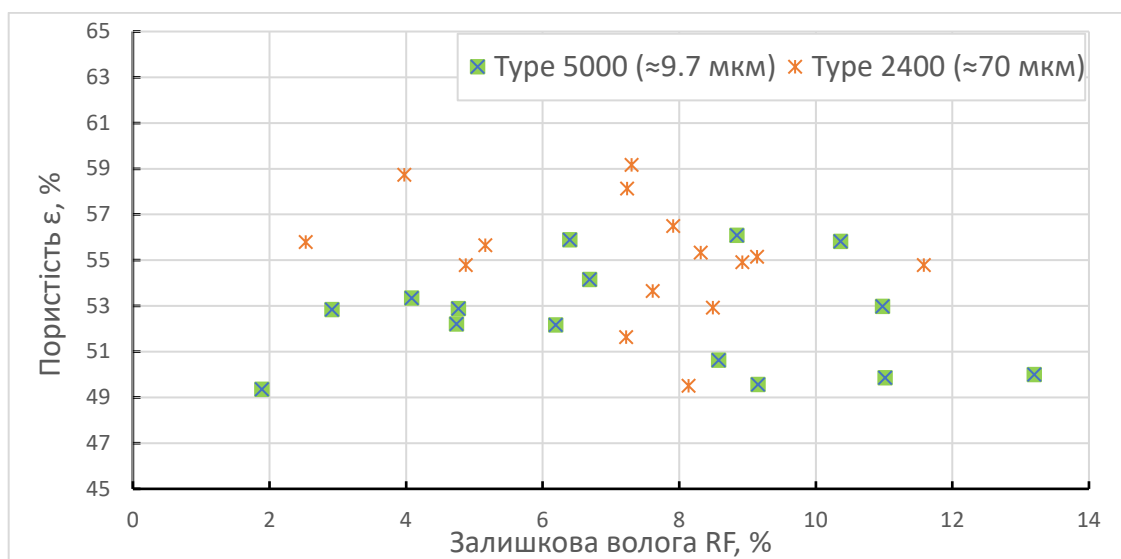


Рисунок 2 – Розподіл гранулометричного склад твердих частинок:
Type 2400 - скляні кульки типу 2400; Type 5000 - скляні кульки типу 5000

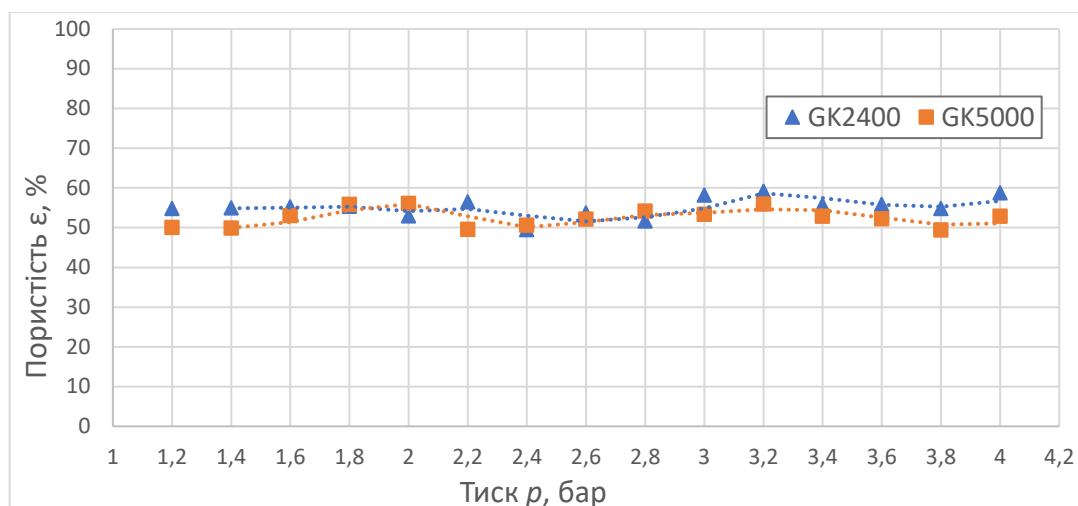


Рисунок 3 – Розподіл гранулометричного склад твердих частинок:
GK 2400 - скляні кульки типу 2400; GK5000 - скляні кульки типу 5000

Дрібнодисперсна фракція GK5000 утворює більш щільний, компактний осад із вищим опором фільтрації, що веде до нижчої пористості навіть при підвищеній вологості. Варто зазначити, що середній розмір частинок GK5000 (≈ 9.7 мкм) є сумірним із середнім діаметром

пор фільтрувальної мембрани (≈ 7 мкм), що потенційно може спричиняти їх закупорювання. Це не тільки впливає на ефективну площу фільтрації, але й може призводити до додаткового ущільнення осаду поблизу мембрани, зменшуючи його загальну пористість. На рисунку 3 продемонстровано зміну пористості в залежності від прикладеного тиску під час фільтрації. Для обох фракцій загальна тенденція свідчить про слабке зменшення пористості зі зростанням тиску, що типово для малокомпресійних систем, якими і виступає даний матеріал. Водночас, незалежно від тиску, осад із більших частинок відносно стабільно демонструє вищу пористість у порівнянні з дрібнодисперсною фракцією. Це свідчить про те, що осади з дрібних частинок менш чутливі до дії зовнішнього тиску, оскільки їх початкова структура вже є доволі ущільненою.

Висновки. Обидва графіки дозволяють зробити обґрунтовані висновки про вплив розміру частинок на пористість та зневоднення фільтраційного осаду. Осад з більших частинок типу GK2400 утворює більш пухку структуру, яка краще реагує на зовнішній механічний тиск, формує осад з вищою пористістю, менш чутливий до ефектів закупорювання. Дрібніші частинки GK5000 утворюють більш щільний осад з нижчою пористістю, що підвищує опір фільтрації та може призводити до закупорювання пор фільтрувального елементу.

Отримані результати узгоджуються з відомими закономірностями, описаними в науковій літературі, зокрема, зменшення пористості фільтраційного осаду зі зменшенням розміру частинок відповідає даним про збільшення числа міжчастинкових контактів та ущільнення структури при фільтрації дрібнодисперсних систем [5]. Ефект закупорювання пор (інакше – засмічення), що спостерігається для частинок, розмір яких наближається до діаметра пор мембрани, також підтверджено у роботах, присвячених мембранному фільтруванню тонкодисперсних суспензій [6,7]. Вплив прикладеного тиску на ущільнення осаду та відповідну зміну його пористості відповідає експериментальним даним про компресійні властивості фільтраційного шару [8].

Перелік посилань

1. Anlauf H. Wet Cake Filtration: Fundamentals, Equipment, and Strategies; Wiley-VCH: Weinheim, Germany, 2019. ISBN: 978-3-527-34606-6
2. R. Chen, X. Dong, Z. Feng, Y. Fan, X. Ma, Investigation on permeability of filter cake with different particle sizes: Experimental and simulation study, Powder Technology, Vol. 433, 2024. URL: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.119191>.
3. Verein Deutscher Ingenieure. VDI 2762, Mechanical Solid-Liquid Separation by Cake Filtration: Determination of Filter Cake Resistance; Beuth Verlag: Berlin, Germany, 2006.
4. Benz, N., Krull, F., Nikolaus, K., & Antonyuk, S. (2023). Membrane–Fabric Composite Filter Media for Continuous Cake Filtration without Gas Throughput Using Paste Dot Coating with Adhesive. Membranes, 13(9), 801. URL: <https://doi.org/10.3390/membranes13090801>.
5. Wakeman, R. J., & Tarleton, E. S. (1999). Filtration: Equipment Selection, Modeling and Process Simulation. Elsevier. ISBN: 1856173453, 9781856173452
6. Bowen, W. R., & Jenner, F. (1995). Dynamic ultrafiltration model for charged colloidal suspensions: A Wigner–Seitz cell approach. Chemical Engineering Science, 50(11), 1707–1736. URL: [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(95\)00026-2](https://doi.org/10.1016/0009-2509(95)00026-2).
7. Bacchin, P., Aimar, P., & Field, R. W. (2006). Critical and sustainable fluxes: Theory, experiments and applications. Journal of Membrane Science, 281(1–2), 42–69. URL: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2006.04.014>.
8. Usher, S. P., Scales, P. J., & Healy, T. W. (2001). The compressive strength of flocculated suspensions: The effect of pH, salt, and polymer type. AIChE Journal, 47(5), 1170–1179. URL: <https://doi.org/10.1002/aic.690470519>.

Порівняльний розрахунок базової та модернізованої конструкцій черв'яка екструзійної машини

Лобанов Г.Ю., студ., Ходжаян С.К., студ., Мальчевський О.Т., асп., Гур'єва Л.Н., ас.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

В даному дослідженні проведено порівняльний розрахунок на міцність, з урахуванням статичних та температурних навантажень, базового та модернізованого черв'яка конструкції для виготовлення полімерних труб методом екструзії.

Ключові слова: екструзійна машина, розрахунок на міцність, полімери, черв'як, модернізація, перемішування, метод скінчених елементів.

Вступ. Серед багатьох агрегатів, що використовуються у виробництві та переробці полімерних матеріалів для виготовлення різноманітних виробів на їх основі, найбільшої популярності здобули одночерв'ячні екструзійні машини [1,2]. З назви агрегату можна зрозуміти, що черв'як – є ключовим елементом конструкції, адже саме він відповідає за транспортування полімеру вздовж робочого каналу, а також його перемішування.

З метою забезпечення хорошого рівня перемішування полімерного матеріалу, було проведено модернізацію геометрії черв'яка екструзійної машини, зазначеного в патенті [3], детальний опис модернізації наведено в публікації [4].

Далі представлено результати порівняльних розрахунків, з метою доведення працездатності модернізованої геометрії черв'яка.

Для розрахунків використовувались модулі Steady-State Thermal та Static Structural програмного пакету ANSYS. Побудова 3D-моделей базової та модернізованої конструкцій здійснювалась в програмному комплексі SOLIDWORKS. Під час розрахунків було враховано статичні та температурні навантаження, що діють на черв'як під час експлуатації.

На рис. 1 представлено розподіл температур модернізованого черв'яка в програмному модулі Steady-State Thermal.

C: Steady-State Thermal_mod

Temperature

Type: Temperature

Unit: °C

Time: 1

11.05.2025 13:57

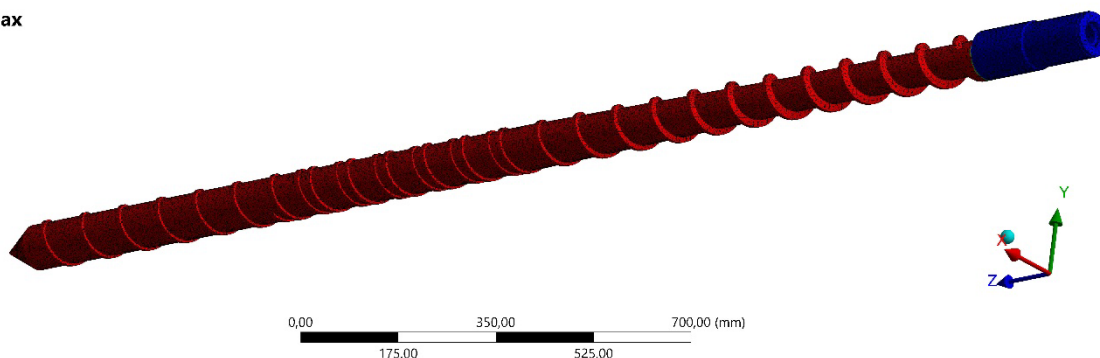
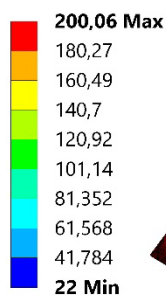


Рисунок 1 – Кольоровий муар розподілу температур модернізованого черв'яка екструдера

Граничні умови, закріплення, навантаження та дія гравітації (Рис. 2) було задано в програмному модулі Static Structural. Матеріал черв'яка – Сталь 38Х2МЮА ($\sigma = 880$ МПа).

D: Static Structural

Static Structural

Time: 1, s

11.05.2025 14:00

A Fixed Support

B Displacement

C Standard Earth Gravity: 9806,6 mm/s²

D Pressure: 80, MPa

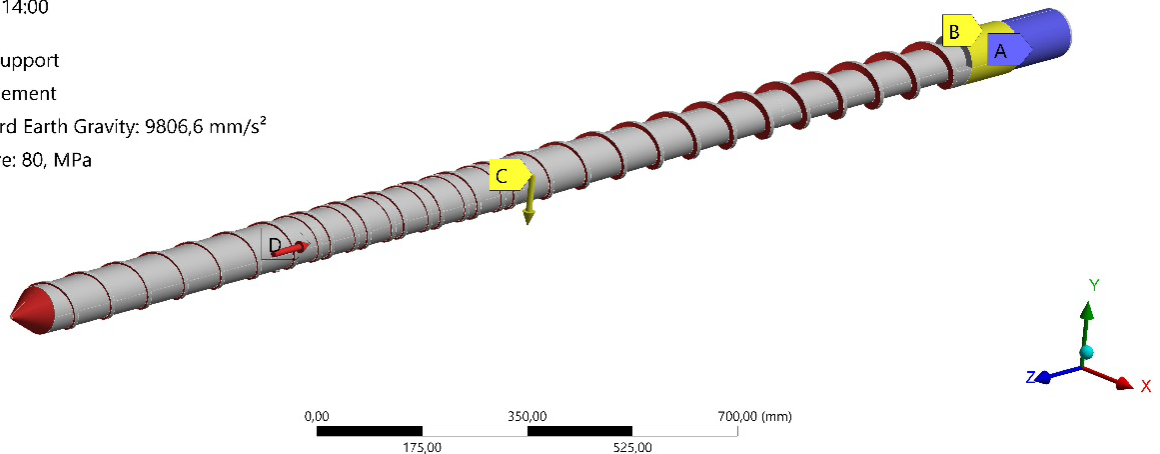


Рисунок 2 – Граничні умови, закріплення, навантаження та дія гравітації модернізованого черв'яка

Після проведення розрахунків було отримано результати загальних деформацій, еквівалентних напружень та коефіцієнта запасу міцності (за Мізесом). Розрахунки були проведені для стандартної конструкції черв'яка та модернізованої. Результати розрахунків стандартної та модернізованої конструкції представлено на (Рис. 3 – Рис. 8).

B: Static Structural

Total Deformation

Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 1

11.05.2025 13:03

0,20291 Max

0,18036

0,15782

0,13527

0,11273

0,090181

0,067636

0,04509

0,022545

0 Min

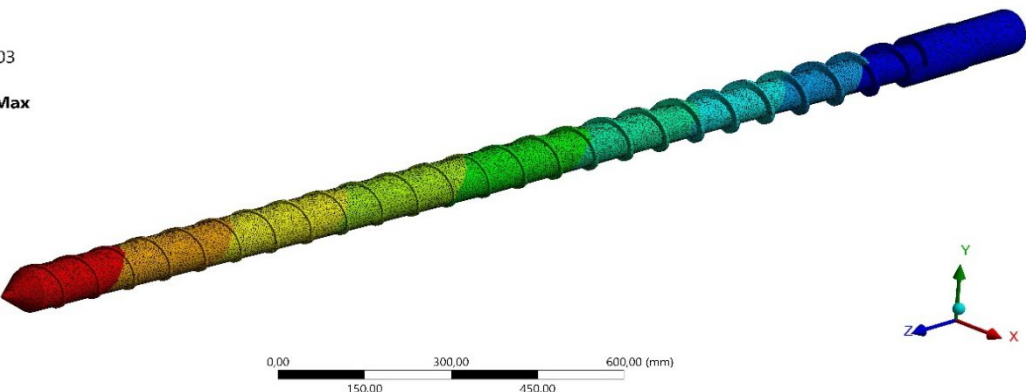


Рисунок 3 – Кольоровий муар загальних деформацій базової конструкції черв'яка

D: Static Structural

Total Deformation

Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 1

11.05.2025 14:08

0,1638 Max

0,1456

0,1274

0,1092

0,090998

0,072798

0,054599

0,036399

0,0182

0 Min

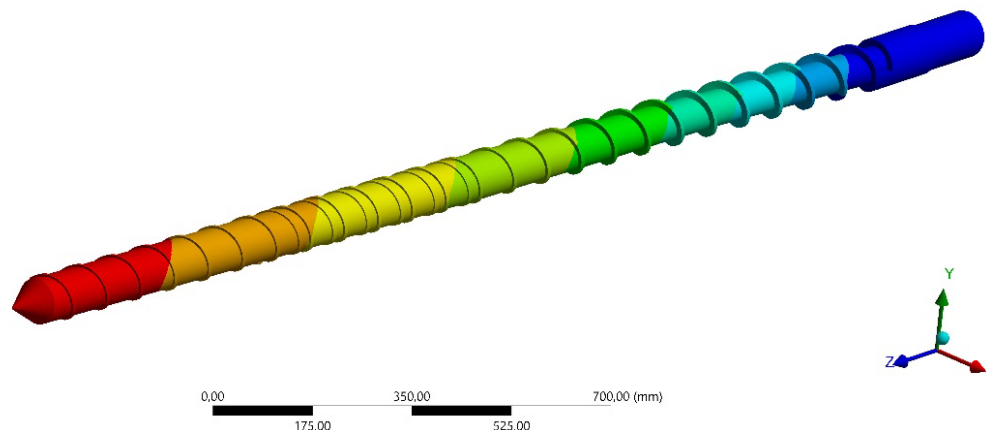


Рисунок 4 – Кольоровий муар загальних деформацій модернізованої конструкції черв'яка

B: Static Structural

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

11.05.2025 13:10

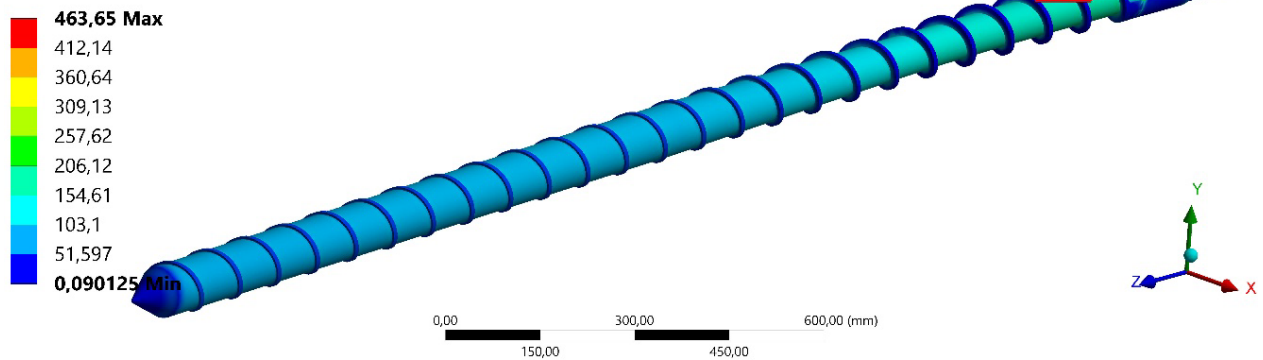


Рисунок 5 – Кольоровий муар еквівалентних напружень базової конструкції черв'яка

D: Static Structural

Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

11.05.2025 14:15

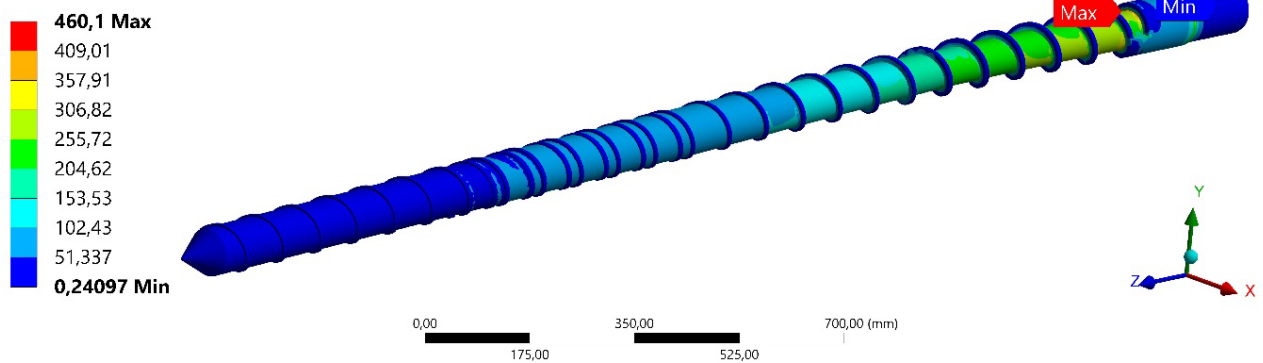


Рисунок 6 – Кольоровий муар еквівалентних напружень модернізованої конструкції черв'яка

B: Static Structural

Safety Factor

Type: Safety Factor

Time: 1

11.05.2025 13:16

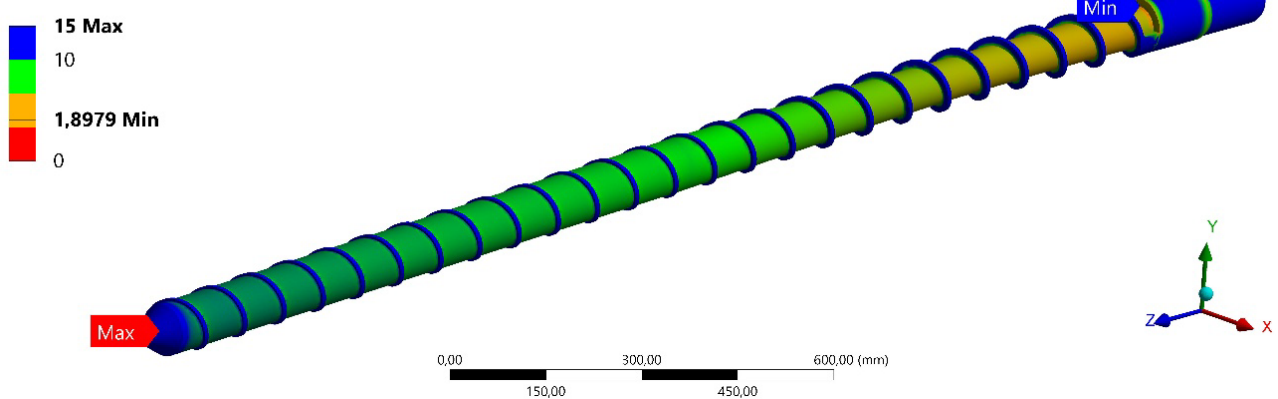


Рисунок 7 – Кольоровий муар коефіцієнту запасу міцності базової конструкції черв'яка

D: Static Structural

Safety Factor

Type: Safety Factor

Time: 1

11.05.2025 14:20

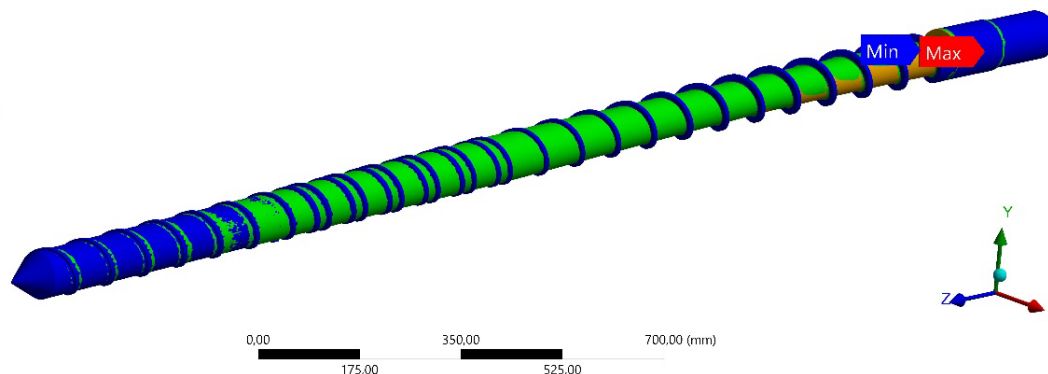
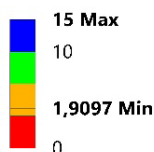


Рисунок 8 – Кольоровий муар коефіцієнту запасу міцності модернізованої конструкції черв'яка

Робимо перевірку коефіцієнту запасу міцності.

Коефіцієнт запасу міцності базової конструкції

$$n = \frac{\sigma_{\Pi}}{\sigma_{\text{H}}} = \frac{880}{463,65} = 1,898$$

Коефіцієнт запасу міцності модернізованої конструкції

$$n = \frac{\sigma_{\Pi}}{\sigma_{\text{H}}} = \frac{880}{460,1} = 1,91$$

Висновки. За результатами розрахунків в програмному комплексі ANSYS, видно, що модернізована конструкція, має практично такий самий запас міцності, що і стандартна конструкція. Враховуючи те, що основним призначенням даної модернізації є покращення якості переробки полімерного матеріалу в робочій зоні екструзійної машини, що в свою чергу позитивно вплине на якість кінцевого продукту, можна рекомендувати дану модернізацію до реалізації, адже вона може дозволити отримувати вихідний матеріал вищої якості, при майже тих самих механіко-технічних характеристиках головного робочого органу екструзійної машини.

Перелік посилань

1. Мікульонюк І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 293 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35084>.
2. Мікульонюк І. О. Інноваційні змішувачі хімічної технології. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 132 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49568>.
3. Single-screw extruder : pat. EP1194278A1 Germany / G. Eberhard; заявл. 26.06.2000; опубл. 10.04.2002.
4. Лобанов Г.Ю., Ходжаян С.К., Мальчевський О.Т., Гур'єва Л.Н., Покращення процесу переробки полімерної сировини методом екструзії шляхом вдосконалення геометрії черв'яка. Збірник доповідей XXI Всеукраїнської науково-практичної конференції. Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки. Київ, 12-13 червня 2025 р.

Пристрій регулювання робочого зазору щокрової дробарки

Галабіцький Р.В., студ., Сокольський О. Л., д.т.н., доц., Дунін К.Д., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано модернізацію щокрової дробарки шляхом встановлення пристрою регулювання робочого зазору, що забезпечує захист від перевантажень та підвищує надійність обладнання.

Ключові слова: щокрова дробарка, пристрій регулювання зазору, захист від перевантажень, надійність обладнання, ефективність дроблення.

Вступ. Щокрові дробарки широко використовуються в гірничодобувній та будівельній промисловості для дроблення твердих матеріалів [1]. Однак, однією з проблем є ризик перевантажень, що може призвести до поломок та простою обладнання. Модернізація механізму регулювання робочого зазору шляхом встановлення запобіжного пристрою дозволяє вирішити цю проблему.

Найближчим аналогом є використання пружинних запобіжних механізмів, які, однак, мають обмеження у швидкості реагування та точності налаштування.

Виклад основного матеріалу. Конструкція щокрової дробарки зі складним качанням щоки містить у собі станину, рухому щоку із броньовими плитами, які кріпляться на ексцентриковій частині вала, нерухому щоку. При обертанні ексцентрикового вала точки поверхні рухомої щоки описують у верхній частині криві, близькі до окружності, у середній частині - замкнуті еліпси, у нижній - дуги. Складна траєкторія руху рухомої щоки обумовлює подрібнювання матеріалу роздавлюванням і стиранням, а також сприяє інтенсивному переміщенню матеріалу до виходу, що збільшує продуктивність дробарки. У нижній частині рухомої щоки виготовлено подовжній паз, у який упирається розпірна плита. Інший кінець розпірної плити упирається у вкладиш регульовального пристрою. Постійний контакт розпірної плити з вкладишами забезпечується замикаючим пристроєм з тягою. Розпірна плита грає також роль запобіжного пристрою, що перешкоджає виходу з ладу основних вузлів дробарки.

В основу модернізації поставлено завдання підвищення надійності та ефективності щокрової дробарки. Запропонована нова конструкція забезпечує надійний захист від перевантажень за допомогою пристрою регулювання робочого зазору. Механізм регулювання робочого зазору із гідравлічним запобіжним механізмом забезпечує більш швидке та точне реагування на перевантаження, реагуючи за 0,1 секунди на перевищення тиску. Для кращого розуміння модернізації на рис. 1. показано балку регульовального зазору з гідроциліндром [2].

Поставлене завдання вирішується шляхом встановлення механізму регулювання робочого зазору, який реагує на зміни тиску в робочій камері дробарки. При перевищенні допустимого тиску, наприклад 150 бар, пристрій автоматично розблоковує рухому щоку, запобігаючи пошкодженню обладнання. Після усунення перевантаження, пристрій автоматично повертає щоку в робоче положення. Окрім того, механізм містить елементи зі сферичними поверхнями, які сприяють самовстановленню опорних елементів по осі пристрою, запобігаючи перекосам.

Пропонований пристрій реалізується шляхом інтеграції гідравлічного циліндра та системи керування в існуючу конструкцію дробарки. Датчики тиску контролюють тиск в робочій камері, а система керування забезпечує автоматичне спрацювання запобіжного пристрою при перевищенні заданого тиску. Балка механізму регулювання робочого зазору показана на рис. 2.

Приклад розрахунку навантаження показано на рис 3 та 4.

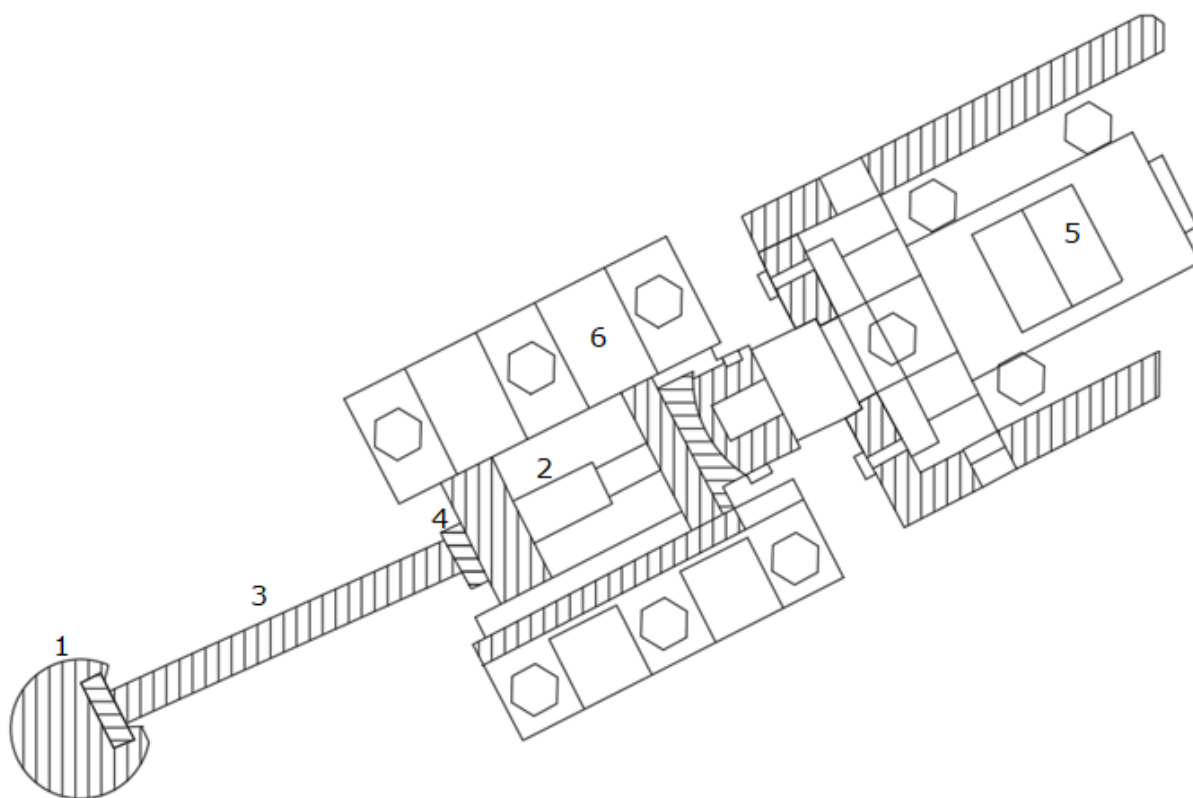


Рисунок 1 – Схема регулювального механізму 1 – підшипник, 2 – два допоміжних гідроциліндри, 3 – пластина, 4 – передня накладка, 5 – головний гідроциліндр, 6 – корпус

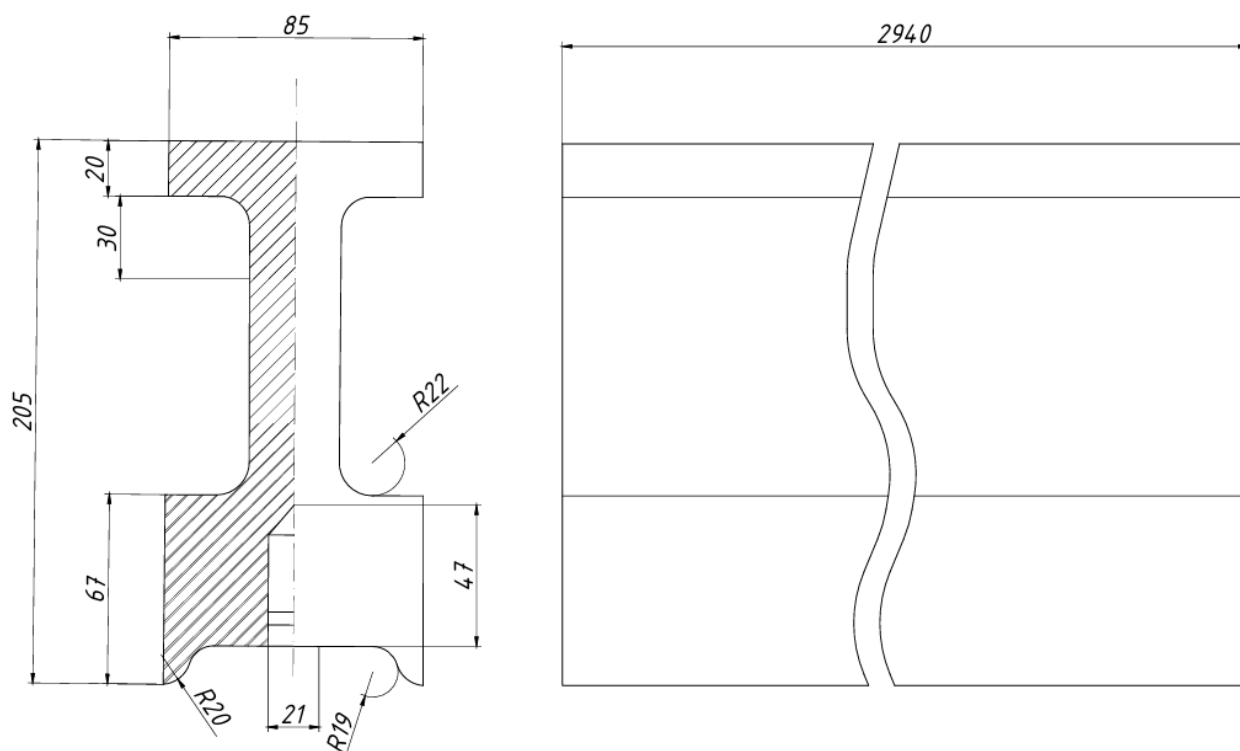


Рисунок 2 – Схема балки

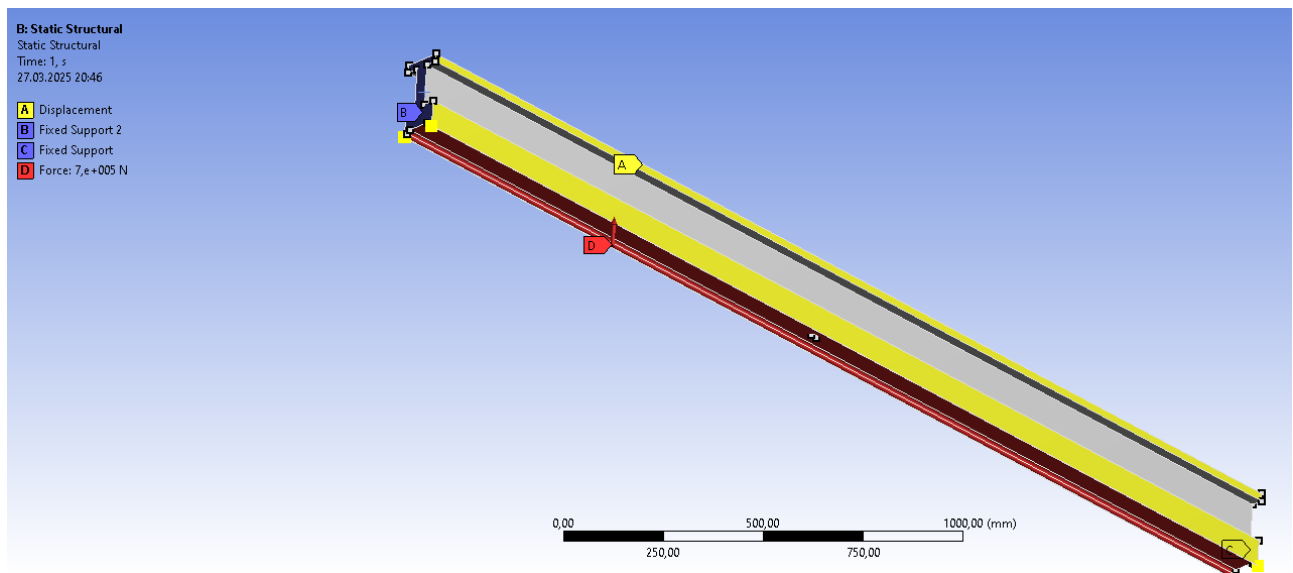


Рисунок 3 – Схема навантажень і закріплень

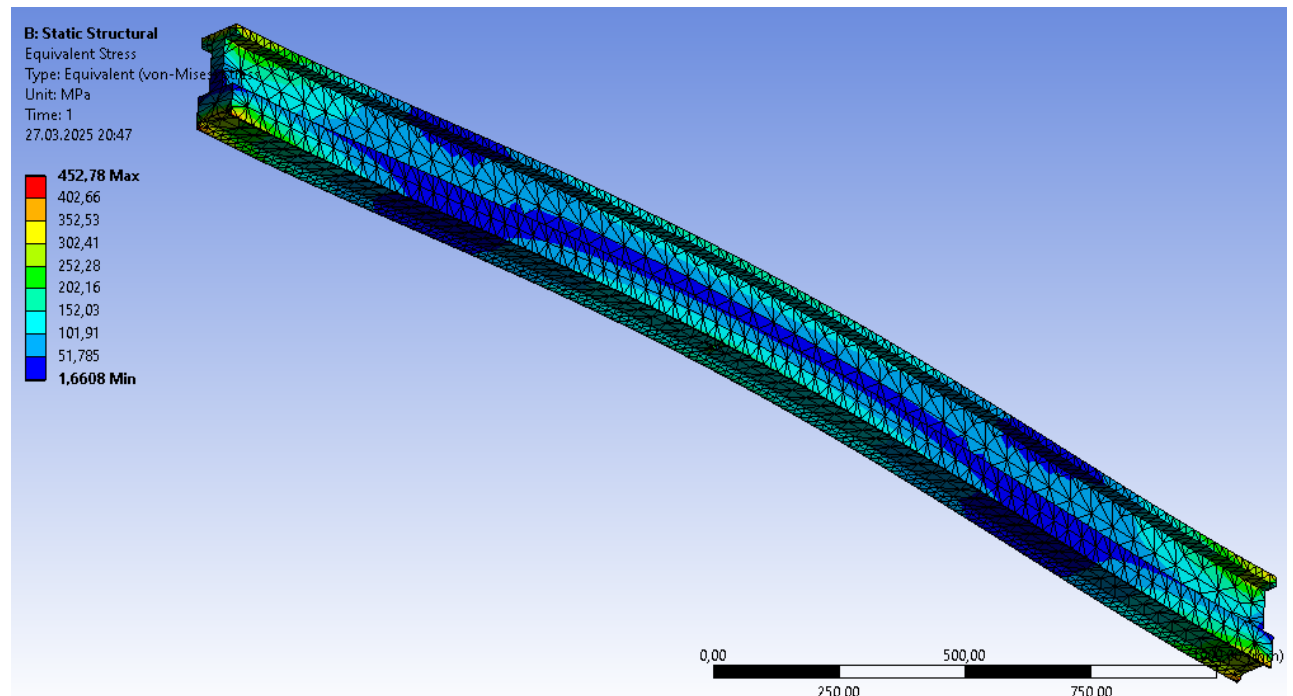


Рисунок 4 – Розподіл напружень

Запропоноване технічне рішення є простим в інтеграції та експлуатації. Воно дає змогу підвищити надійність та ефективність роботи шокової дробарки.

Висновки. Представлений спосіб модернізації є простим у реалізації, це рішення дає змогу зменшити ризик поломок на 30%, знизити час простою на 20% та підвищити ефективність процесу дроблення на 15%.

Перелік посилань

1. Мікульонюк І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 172 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/750869e4-441f-423b-b90b-41d939d86298/content> .
2. Патент № CN100569375C КНР. Гідравлічна шокова дробарка важкого типу та спосіб її роботи. URL: <https://patents.google.com/patent/CN100569375C/en?qq=+CN100569375C> (дата звернення: 01.04.2025).

Модернізація конструкції валка вальців з метою підвищення міцності машини

Кривенко Н.Р., студ., Сівецький В.І., к.т.н., проф., Ходжаян С.К., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Представлено варіант удосконаленої конструкції валка, яка підвищує міцність та технологічні можливості.

Ключові слова: валок, полімерні матеріали, бочка, прогин.

Вступ. Переробка пластмас і гумових сумішей – це сукупність різних технічних процесів [1], які перетворюють сирий полімерний матеріал на продукт із заздалегідь визначеними експлуатаційними характеристиками. Одним з найбільш поширених способів переробки полімерів у виробі є процес вальцювання. Отже об'єктом дослідження є валки вальців які використовуються для змішування гумової сировини.

Валки змішувальних вальців з бочкоподібною системою охолодження [2] широко використовуються в різних галузях промисловості. Однак, як і будь-яке обладнання, вони мають свої недоліки: нерівномірний розподіл температури - бочкоподібна форма валка призводить до нерівномірного розподілу теплового потоку, що може спричинити перегрів або недогрів окремих ділянок матеріалу; недостатня міцність в області поперечного перерізу.

В основу модернізації поставлено задачу вдосконалення валка валкових машин для перероблення полімерних матеріалів. Поставлена задача вирішується тим, що порожнина бочки виконується у вигляді двох зрізаних конусів [3] зі спільною меншою основою (рис.1). Виконання порожнини бочки по її довжині змінного діаметра (мінімального в центрі й максимального по краях) збільшує момент опору поперечного перерізу бочки валка в найбільш небезпечному його місці - в центральній частині бочки, а отже й підвищує міцність валка в цілому. А також даний спосіб істотно спрощує виготовлення валка, оскільки формоутворення зазначеної порожнини достатньо легко здійснити на металообробних верстатах токарної групи.

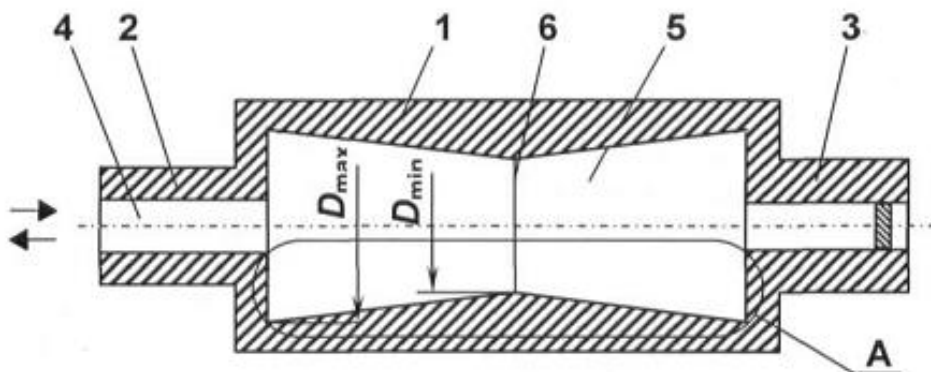


Рисунок 1 – Приклад виконання порожнини бочки у вигляді двох зрізаних конусів

Принцип роботи: теплоносій по центральному каналу 4 потрапляє в порожнину 5 бочки 1 і за рахунок контакту з її внутрішньою поверхнею нагріває або охолоджує робочу поверхню бочки 1 валка. Після цього теплоносій за допомогою спеціального пристрою (не показано) також по центральному каналу 4 відводиться за межі валка.

Перевірка моделі здійснюватиметься за допомогою числових розрахунків у програмі Ansys (рис.2 -3).

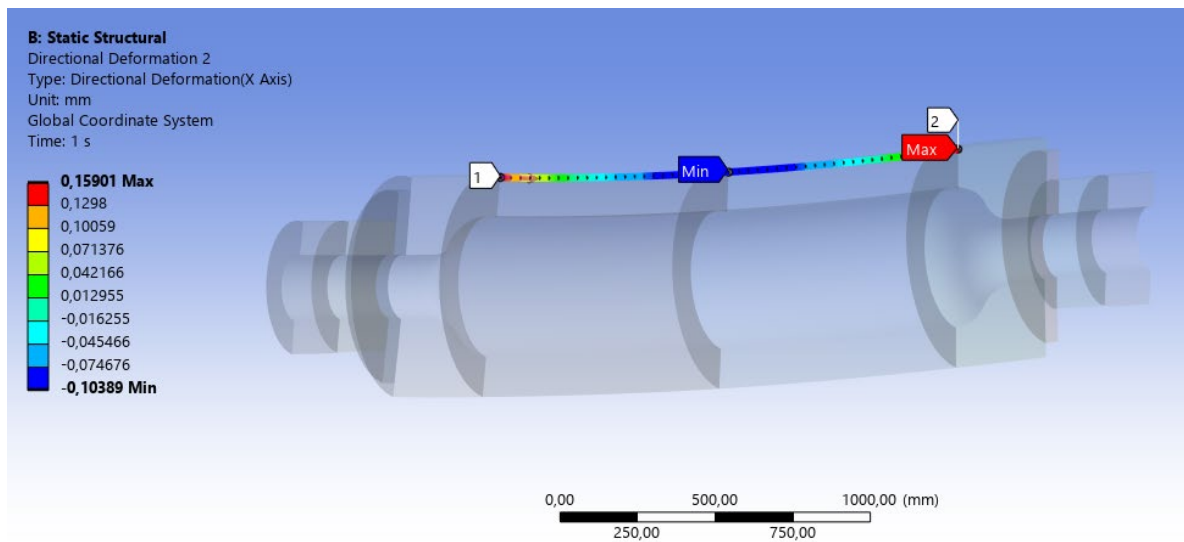


Рисунок 2 – Прогин валка з порожнистою бочкою

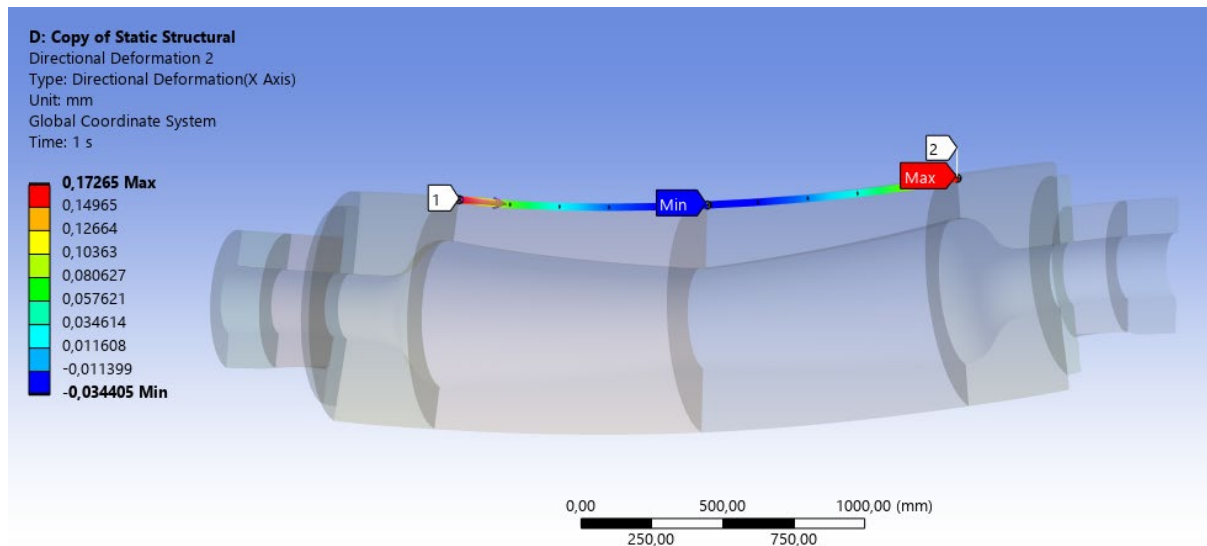


Рисунок 3 – Прогин модернізованого валка

Висновки. Досліджуючи отримані результати видно, що прогин модернізованого валка в поперечному перерізі фактично втричі менший у порівнянні з бочкоподібним. Отже поставлену задачу по вдосконаленню конструкції можна вважати виконаною.

Перелік посилань

1. В. І. Сівецький, Д. Е. Сідоров, Д. Г. Швачко. Валкові машини: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Інжиніринг пакувань та пакувального обладнання», «Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання» спец. 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstreams/6771fc1c-ebbe-41ba-ba80-3993caf2f28f/download>.
2. Мікульонюк І.О. Моделювання обладнання технологічних ліній для перероблення пластмас і гумових сумішей на базі валкових машин: монографія. - К.: НТУУ 15 "КПІ", 2013. – 21 с., рис. 1.5,а. URL: https://cpism.kpi.ua/Doc/Mono_MIO-2013.pdf.
3. Мікульонюк І. О. Валок валкових машин для перероблення полімерних матеріалів: патент на корисну модель № 116061, Україна. Заявл. 24.10.2016; опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9.

Модернізація конструкції валка вальців з метою підвищення міцності машини

Велимчаниця В.А., студ., Сівецький В.І., к.т.н., проф., Ішук В.Є., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Розглянуто варіант модернізації валка каландра гумообробних вальців з використанням SolidWorks та ANSYS Workbench. Проведено числовий аналіз теплового навантаження. Наведено розрахунки для перевірки працездатності.

Ключові слова: валок, порожнина бочки, полімерні матеріали, модернізація конструкції.

Вступ. У сучасному виробництві гумових виробів особливу роль відіграють процеси обробки гумових сумішей, оскільки якість кінцевого продукту значною мірою залежить від однорідності, пластичності та стабільності матеріалу. З цією метою активно використовуються гумообробні вальці — обладнання, яке забезпечує рівномірне змішування та пластикацію компонентів суміші. Такі вальці застосовуються в шинній, хімічній, взуттєвій промисловості, а також при виготовленні технічних виробів — прокладок, стрічок, профілів тощо [1].

Проте традиційні конструкції таких валків мають низку суттєвих недоліків. Основними з них є: складність виготовлення каналів охолодження — у звичайних конструкціях додаткові канали виконуються похилими, що потребує складної металообробки. Зниження міцності валка — велика кількість каналів суттєво ослаблює поперечний переріз бочки валка.

В [2] запропонована нова конструкція радіальних каналів для підводу теплоносія в переферійні отвори бочки валка (Рис. 1). У місцях виходу переферійних каналів 7 на цих уступах розташовуються ущільнювальні елементи з відбортовкою, які утворюють порожнину 14. Саме ця порожнина забезпечує з'єднання між переферійними 7 та додатковими каналами 8. Технічні переваги конструкції: спрощене виготовлення валка — завдяки новому розташуванню каналів, додаткові канали можна виконувати перпендикулярно до центрального каналу, що значно полегшує технологію виробництва. Рівномірне температурне поле — удосконалена система каналів забезпечує рівномірний розподіл теплоносія по переферійних каналах, що зменшує ризик перегріву або недогріву матеріалу, відповідно до рис. 1.

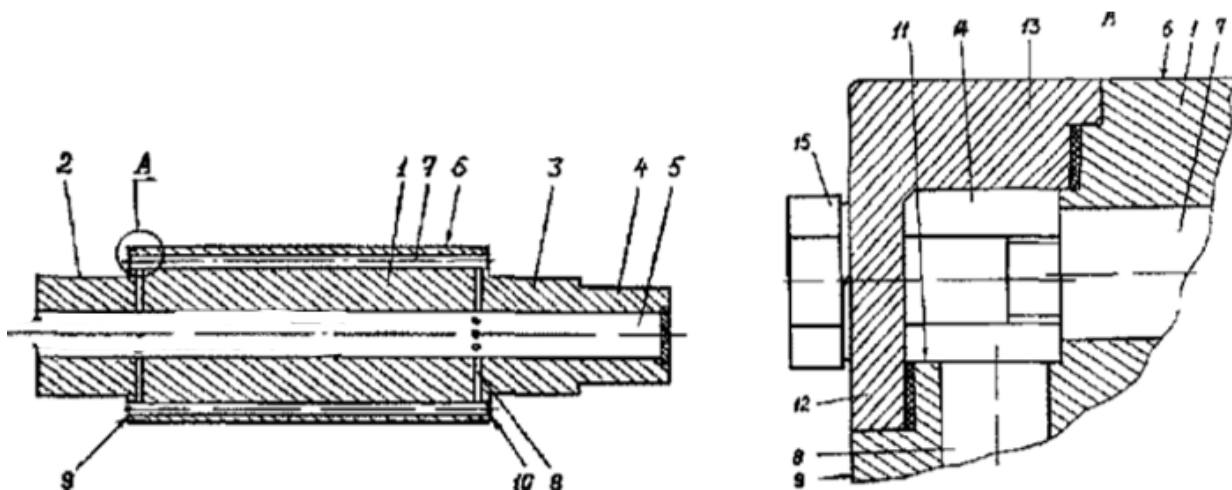


Рисунок 1 – Модернізація конструкції валка каландра

1 – бочка валка; 2,3 – апфи; 4 – хвостовик; 5 – центральний канал;
6 – робоча поверхня бочки; 7 – переферійні канала; 8 – додаткові канали;
9,10 – торець бочки; 11 – кільцеві уступи; 12 – ущільнювальні елементи;
13 – відбортовка; 14 – порожнина; 15 – болт

Теплоносій надходить у центральний канал 5, розташований уздовж осі валка. Із центрального каналу теплоносій переходить у додаткові канали 8, які з'єднуються з переферійними каналами 7, розташованими вздовж робочої поверхні бочки. З'єднання між

каналами забезпечується через порожнини 11, утворені кільцевими уступами 13 та ушлінювальними елементами. Така конструкція забезпечує рівномірний розподіл теплоносія по всій робочій поверхні бочки, що створює стабільне температурне поле.

Для перевірки ефективності такої конструкції проведено моделювання конструкції валків валкових машин, з периферійними радіальними каналами 8 на торцевих поверхнях бочки валка (рис.2).

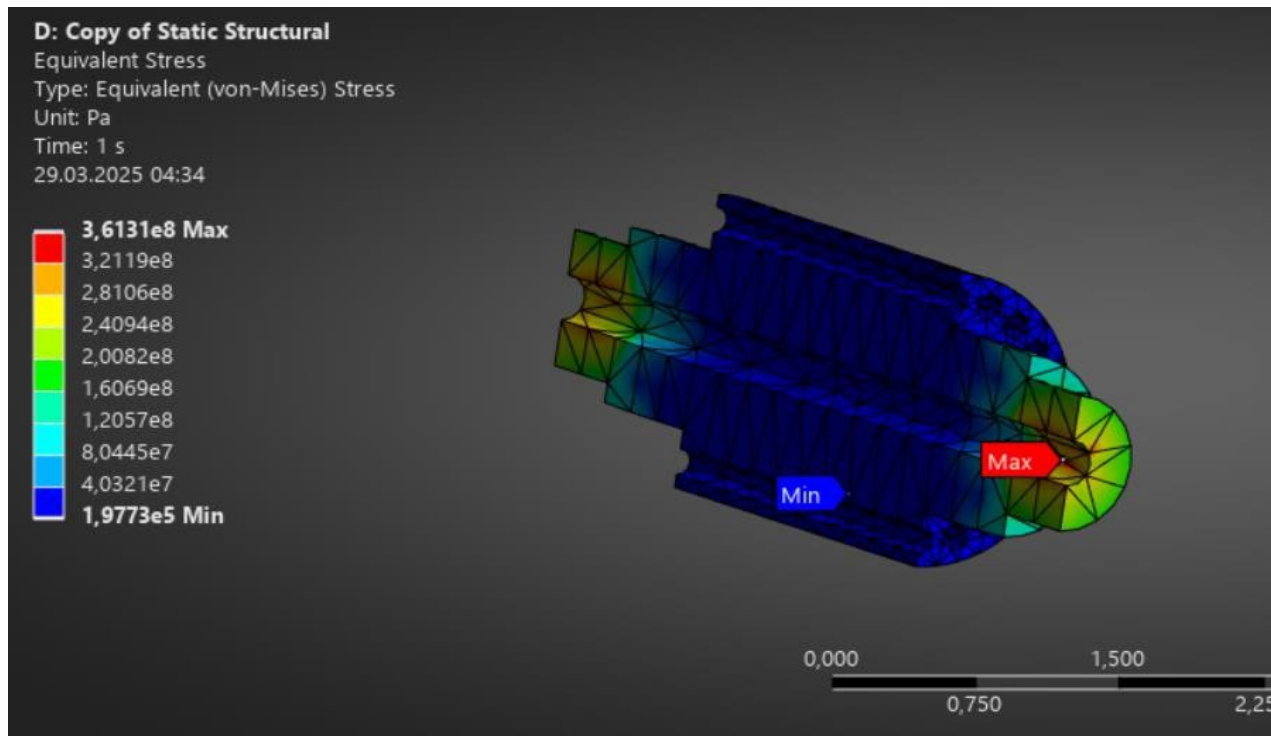


Рисунок 2 – Еквівалентні напруження

Запас міцності валка виконується запас міцності виконується, оскільки еквівалентні напруження 360 мпа а запас міцності 730, оскільки $\frac{730}{360} = 2,02$, що підтверджує працездатність конструкції. Представлені на рис.2 еквівалентні напруження показують що, максимальне значення не перевищують допустиме.

Висновки. Розроблена удосконалена конструкція системи охолоджуючих каналів валка. Особливу увагу приділено питанням рівномірного розподілу температури, оптимізації конструкції для покращення теплозабезпечення валка. Також було проведено моделювання запасу міцності валка, які підтверджують працездатність модернізованої конструкції.

Перелік посилань

1. В. І. Сівецький, Д. Е. Сідоров, Д. Г. Швачко. Валкові машини: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Інжиніринг пакувань та пакувального обладнання», «Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання» спец. 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/62811>.
2. Мікульонюк І.О. Моделювання обладнання технологічних ліній для перероблення пластмас і гумових сумішей на базі валкових машин: монографія. - К.: НТУУ 15 "КПІ", 2013. – 21 с., рис. 1.5,а. URL: https://cpsm.kpi.ua/Doc/Mono_MIO-2013.pdf.

Модернізація трубної головки екструдера

Шульга В.Р. студ., Дунін К.Д., студ., Сідоров Д.Е., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Розглянуто варіант модернізації трубної багатошарової головки яка підвищує продуктивність завдяки інтеграції нових елементів у базову конструкцію, з використанням SolidWorks та ANSYS Workbench. Проведено числовий аналіз теплового навантаження. Наведено розрахунки для перевірки працездатності.

Ключові слова: трубна головка, числове моделювання, модернізація, розподіл температур.

Вступ. Машинобудування відіграє важливу роль у розвитку промисловості, забезпечуючи виробництво обладнання для різних технологічних процесів. Одним із ключових пристроїв у виробництві полімерних виробів є екструдер, який використовується для переробки термопластичних матеріалів у вироби різної форми. Багатошарові полімерні труби отримали широке застосування завдяки своїй надійності та довговічності. Виробництво таких труб вимагає використання спеціальних технологій та точного дотримання технологічного процесу [1].

У цій тезі розглядається екструзійна головка для виготовлення трубних виробів діаметром 100 мм з модернізацією за патентом CN218429856U [2]. Основна увага приділяється модернізації головки з метою підвищення продуктивності, покращення якості кінцевої продукції та оптимізації виробничого процесу.

Модернізація відбувається для трьох-шарової трубної головки. Метою є досягнення модернізації головки для кращої продуктивності (рис.1), а також перевірка на дієздатність даної головки під дією симуляції напружень на головку.

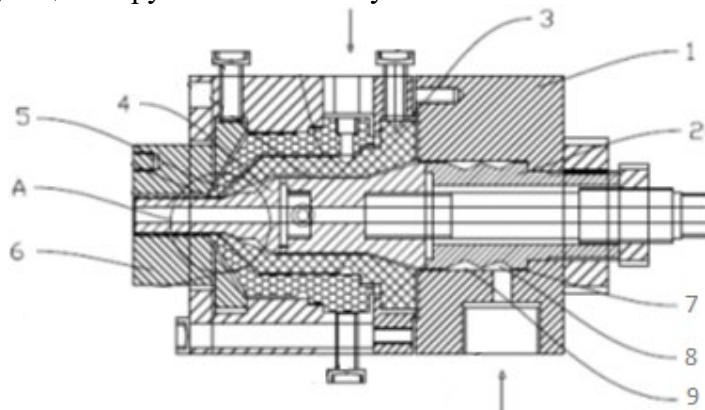


Рисунок 1 – Трьох-шарова трубна головка з модернізацією за патентом CN218429856U:

1 – головний корпус; 2 – перша оправка; 3 – ядро середнього шару; 4 – друга оправка;

5 – зовнішнє ядро; 7 – кільце компресійної пластифікації; 6 – калібруюча втулка;

8 – канавка сходження

За допомогою програмного забезпечення CAD-системи SolidWorks [3] виконано проєктування модернізованої конструкції трьох-шарової екструзійної трубної головки [2] у вигляді твердотільної моделі з деталей та збірки. З використанням програмного продукту ANSYS Workbench [4] проведено числовий розрахунок розподілу температур під час виробництва труби у модернізованій конструкції. Обрано основний матеріал H13 (4X5МФС) (інструментальна сталь) з границею текучості 1200 МПа та межею міцності 1500МПа. Результати числового моделювання наведено на (рис. 2).

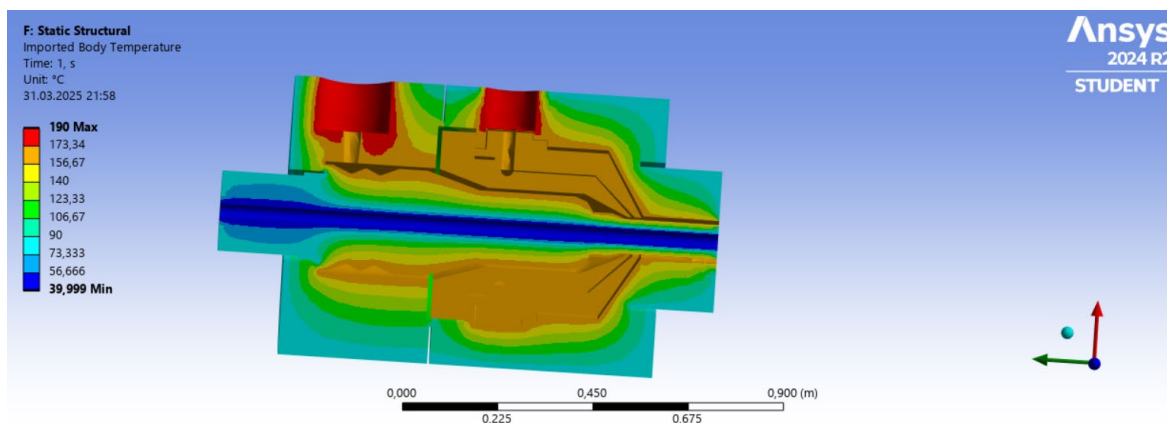


Рисунок 2 – Результат розподілу температур

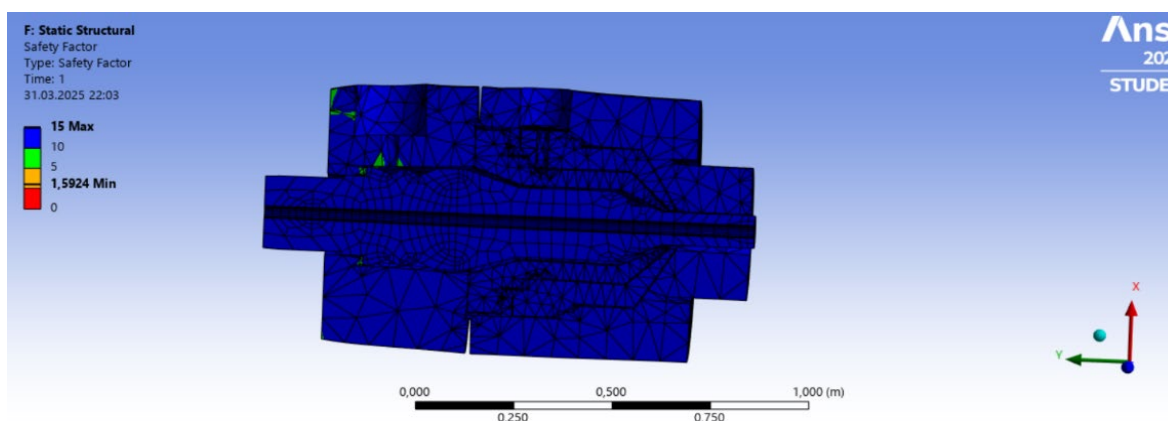


Рисунок 3 – Результат розрахунків на міцність

При числовому моделюванні трубної головки було задано розміри скінченних елементів та виконано дискретизацію геометричної моделі, задано теплове навантаження в 190 градусів на вхідні патрубки та 80градусів на саму головку, було проведено розрахунок на міцність де $\min=1.59$ а максимальне напруження 230МПа. Також було проведено ще одне дослідження з немодернізованою трубною головкою де задана температура була такою ж самою в 190 градусів на вхідні патрубки та 80градусів на саму головку, було проведено розрахунок на міцність де $\min=1.68$ а максимальне напруження 890МПа. Модернізація призвела до суттєвого зменшення напружень майже в 4 рази, що підвищує надійність та довговічність головки. Конструктивні зміни дозволили значно знизити ризик передчасного руйнування через високі напруження не втрачаючи міцність конструкції.

Висновки. З використанням CAD-системи SolidWorks створено твердотільні моделі трубних головок модернізованої та немодернізованої. Визначено складові теплових навантажень, які діють на конструкцію, під час його експлуатації. Встановлено, що при використанні модернізованої конструкції незважаючи на зниження запасу міцності, конструкція залишається в межах безпечної експлуатації, а значне зменшення напружень, у майже 4 рази, компенсує незначне зменшення запасу. А також те що модернізована головка має працездатну конструкцію.

Перелік посилань

1. Пластикові труби: види і сфера застосування [Електронний ресурс] // ЕТР. <https://etp.ua/ua/articles/plastikovye-truby-vidy-i-sfera-primeneniya> (дата звернення: 02.04.2025).
2. WO1995029051A1 – Метод та пристрій для екструзії [Електронний ресурс] // PatentImages. <https://patentimages.storage.googleapis.com/85/22/09/ce7f1145254035/WO1995029051A1.pdf> (дата звернення: 02.04.2025).
3. Dassault Systems SolidWorks Corporation, a Dassault Systems S.A. company, 300 Baker Avenue, Concord, Massachusetts 01742 USA, 1995–2009, 534 p.
4. ANSYS Workbench. URL: <https://www.ansys.com> (дата звернення: 14.03.2022).

Теплоелектричний стан печі Ачесона для промислового отримання карбиду кремнію

Шумивода К. О., асп., Шилович І.Л., к.т.н., доц., Дунін К.Д., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Розроблено числову теплоелектричну модель печі для промислового отримання карбиду кремнію, за допомогою якої виконано уточнення фізичних властивостей конструкційних матеріалів печі з використанням експериментальних даних. Досліджено сіткову збіжність числової моделі та виконано її верифікацію за даними теплоелектричних параметрів процесу промислового отримання карбиду кремнію.

Ключові слова: карбід кремнію, піч Ачесона, теплоелектричні поля, керн, теплоізоляційна шихта, енергоефективність.

Вступ. Карбід кремнію (SiC) є одним з найважливіших штучних неорганічних матеріалів, який широко використовується в абразивній промисловості, електротермічних установках, металургії тощо. Основним способом промислового отримання SiC є Ачесонівський процес, який відбувається в печах Ачесона і є надзвичайно енергоємним, питомі енерговитрати якого становлять (7300–7600) кВт·год/т [1]. Тому завдання підвищення енергоефективності вказаного процесу є актуальним.

Числова модель теплоелектричного стану печі Ачесона базується на математичному формулюванні нелінійної нестационарної задачі тепло-електропровідності, що наведена в працях [2, 3]. Для розв'язання вказаної задачі використано метод скінченних елементів та програмне забезпечення ANSYS Mechanical APDL [4, 5]. При цьому електричні граничні умови включали силу струму на вихідному торці електрода, нульовий електричний потенціал на поперечному перерізі моделі печі та умови відсутності протікання електричного струму на всіх інших поверхнях, а теплові – адіабатні умови на площинах симетрії та конвективного типу на зовнішніх поверхнях печі, що контактують з оточуючим середовищем.

Геометричну модель печі Ачесона та її скінченно-елементну (СЕ) дискретизацію наведено на рис. 1.

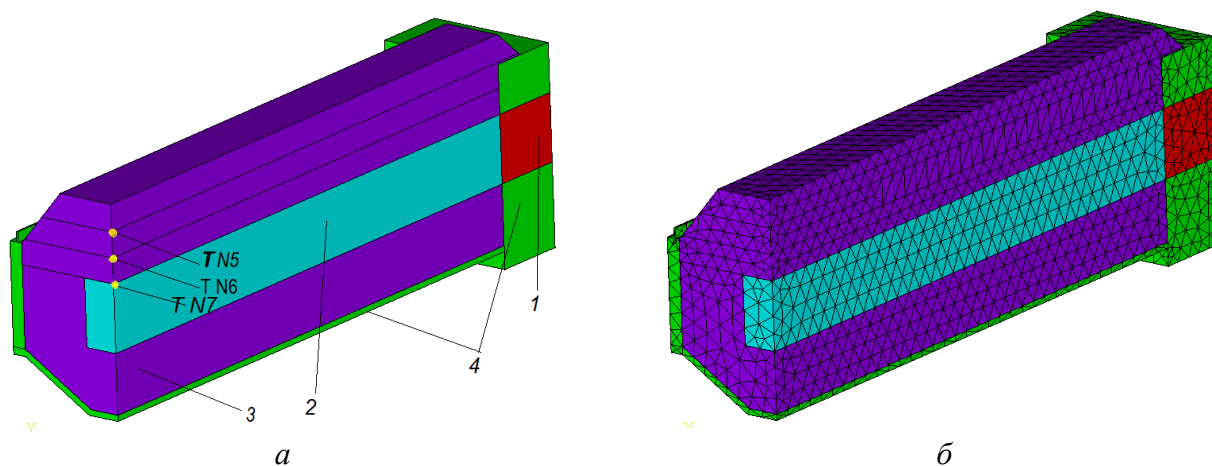


Рисунок 1 – Геометрична модель печі Ачесона та її дискретизація: *а* – геометрична модель; 1 – електрод; 2 – керн; 3 – теплоізоляційна шихта; 4 – бетонні конструкції печі; *T N5*, *T N6*, *T N7* – місця встановлення термопар; *б* – СЕ дискретизація; 24097 – кількість СЕ; 36568 – вузлів

Розробка числової моделі теплоелектричного стану печі включає такі основні етапи: створення геометричної моделі печі та розроблення спеціального макросу на мові програмування ANSYS Mechanical APDL, за допомогою якого зчитується файл геометричної моделі печі (рис. 1, *а*), задаються фізичні властивості конструкційних матеріалів печі та граничні умови, виконується скінченно-елементна дискретизація (рис. 1, *б*), задається крок інтегрування за часом

і приєднуються початкові умови та виконується покроковий за часом розв'язок задачі та на кожному кроці за часом розраховується енергетичний баланс печі.

Результати числового моделювання теплоелектричного стану печі Ачесона в процесі промислового отримання карбіду кремнію наведено на рис. 2.

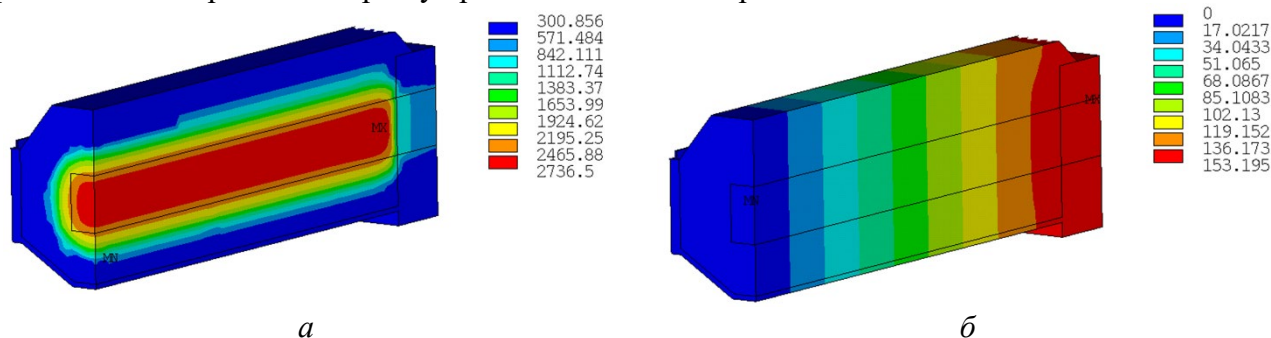


Рисунок 2 – Теплоелектричні поля печі Ачесона на 10 год процесу одержання карбіду кремнію: *а* – температурне поле (К); *б* – поле електричного потенціалу (В)

Результати верифікації числової моделі теплоелектричного стану печі Ачесона наведено на рис. 3.

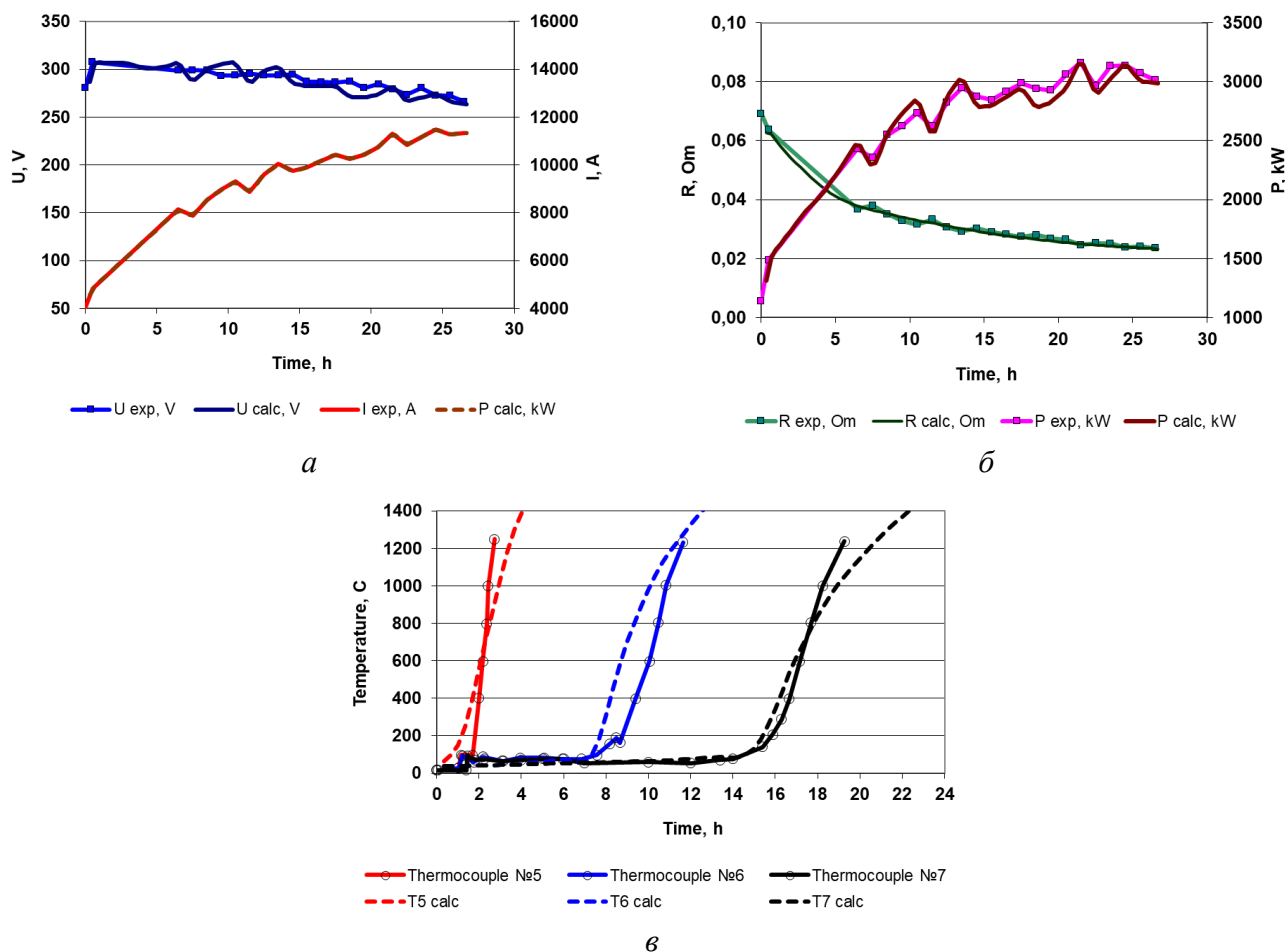


Рисунок 3 – Результати верифікації числової моделі теплоелектричного стану печі Ачесона за експериментальними даними: *а* – порівняння електричного потенціалу (U) і сили струму (I); *б* – порівняння електричного опору (R) і потужності (P); *в* – порівняння температур в місцях встановлення термопар (T_{N5} , T_{N6} , T_{N7})

Дані верифікації числової моделі теплоелектричного стану печі Ачесона показують, що похибка числового моделювання становить:

- електричного потенціалу (напруги) лежить в діапазоні (0,23–4,54) % (рис. 3, *а*);

- електричного струму становить 0 %, оскільки задається за даними експерименту (рис. 3, а);
- електричного опору та потужності також лежить в діапазоні (0,23–4,54) % (рис. 3, б), оскільки похибка визначення цих величин залежить тільки від похибки визначення електричного потенціалу, тому що сила струму задається точно;
- графіки температур в контрольних точках (рис. 1, а) залежно від часу наближені до експериментальних значень (рис. 3, в).

Для оцінки достовірності отримуваних результатів числового моделювання залежно від обраної дискретизації геометричної моделі також додатково проведено дослідження сіткової збіжності методом подвійного перерахунку. Встановлено, що за даними числового моделювання похибка визначення температури в діапазоні (150–2000) °С за умови СЕ дискретизації (рис. 1,б) не перевищує 3,3 %, а – електричного потенціалу – не більше 0,75 %.

Тобто результати верифікації та дослідження сіткової збіжності числової моделі теплоелектричного стану печі Ачесона в цілому показали відповідність даних числового моделювання експерименту, що дає підставу для її використання для розробки технічних рішень з підвищення енергоефективності процесу високотемпературного отримання карбіду кремнію в промислових умовах в печах Ачесона.

Результати розрахунків миттєвого енергетично балансу печі Ачесона залежно від тривалості процесу отримання карбіду кремнію наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Миттєвий енергетичний баланс печі Ачесона залежно від тривалості процесу отримання карбіду кремнію

Час, год	P , кВт	$Q_{\text{ак.кern}}$, кВт	$Q_{\text{ак.т.шихта}}$, кВт	$Q_{\text{ак.електр}}$, кВт	$Q_{\text{ак.бетон}}$, кВт	$Q_{\text{т.втрати}}$, кВт	Небаланс, %
1	1574,40	1225,95	344,53	12,58	8,33	1,54	-1,17
10	2780,54	1252,67	1439,81	15,18	28,90	21,71	0,80
20	2882,78	552,05	2141,71	12,82	89,31	59,01	0,97

Примітка: P – підведена електрична потужність; $Q_{\text{ак.кern}}$ – акумульована потужність (АП) керном; $Q_{\text{ак.т.шихта}}$ – АП теплоізоляційною шихтою; $Q_{\text{ак.електр}}$ – АП електродом; $Q_{\text{ак.бетон}}$ – АП бетонними конструкціями; $Q_{\text{т.втрати}}$ – тепловтрати печі.

Аналіз табл. 1 показує, що з 10 год по 20 год акумульована потужність керна зменшилась на 700 кВт, а теплоізоляційної шихти на стільки ж збільшилась. Тобто очевидно, що існує резерв підвищення енергоефективності печі Ачесона.

Висновки. Розроблена числова теплоелектричного стану печі Ачесона потрібна для розробки технічних рішень з підвищення енергоефективності процесу промислового отримання карбіду кремнію.

Перелік посилань

1. Дерев'яно І.В., Жаданос О.В. Дослідження теплоенергетичних процесів виробництва карбіду кремнію в печі опору // Теорія і практика металургії. № 6. 2021. С. 18–25. URL: <https://doi.org/10.34185/tpm.6.2021.03>.
2. Карвацький А. Я., Педченко А. Ю. Розв'язання нелінійної нестационарної задачі теплоелектропровідності методом скінченних елементів // Вісник ПДТУ. Серія: Технічні науки. 2016. Вип. 32. С. 205–214. URL: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.32.2016.83945>.
3. Карвацький А. Я. Нелінійні задачі механіки суцільних середовищ. Комп'ютерний практикум з навчальної дисципліни [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ.. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 158 с. URL: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27528>.
4. ANSYS: Engineering Simulation Software. URL: <https://www.ansys.com> (дата звернення: 12.02.25).
5. M. K. Thompson, J. M. Thompson, ANSYS Mechanical APDL for Finite Element Analysis. Elsevier Sci. Technol. Books, 2017.

Валкова дробарка із вдосконаленими валками

Косенков В.О., студ., Шилович Т.Б., к.т.н., доц., Гунчар Д.О. студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано модернізацію валкової дробарки, яка полягає у заміні валка циліндричної форми на призматичну, що дозволить забезпечити надійне захоплення та дроблення вихідного матеріалу та симетричність дії зусиль з боку подрібнюваного матеріалу на обидва валки та відсутність поштовхів вібрації і струсу під час роботи дробарки.

Ключові слова: дробарка валкова, валок, кут захоплення.

Вступ. Валкова дробарка є одним із основних видів дробильного обладнання, яка отримала поширення в різних галузях промисловості, а саме: металургійній, будівельній, гірничорудній, хімічній та інших. Дробарки використовуються для подрібнення матеріалів різної твердості, таких як: вапняк глина, руда, вугілля, а також для попереднього помелу в різних технологічних лініях. Зазвичай у валкових дробарках матеріал подрібнюється одним, двома або трьома валками, які можуть обертатися в одному напрямку або в протилежних напрямках один до одного [1].

Основний матеріал. У валку валкової дробарки, виконаного у вигляді циліндра, основним недоліком є невисока продуктивність, спричинена проковзуванням подрібнюваного матеріалу по циліндричній поверхні валка. В основу ідеї модернізації валкової дробарки взята корисна модель [2], в якій запропоновано виконати валок у вигляді шестигранної призми. Завдяки наявності плоских ділянок робочої поверхні кута захоплення змінюється циклічно, що забезпечує більшу продуктивність.

Для уникнення поштовхів, вібрацій і струсів під час роботи дробарки запропонований валок у вигляді правильної шестигранної призми забезпечує симетричність зусиль, прикладених на дроблення які будуть діяти на обидва валки.

На рис. 1-2 показано модернізований валок зі зміненою формою та схема обертання валків при роботі дробарки.

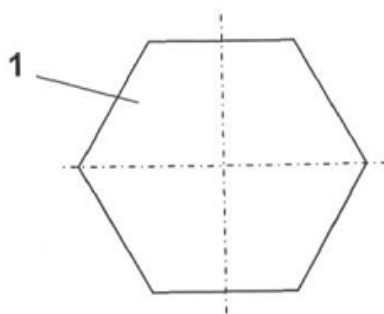


Рисунок 1 – Валок, вигляд з боку основи [2]

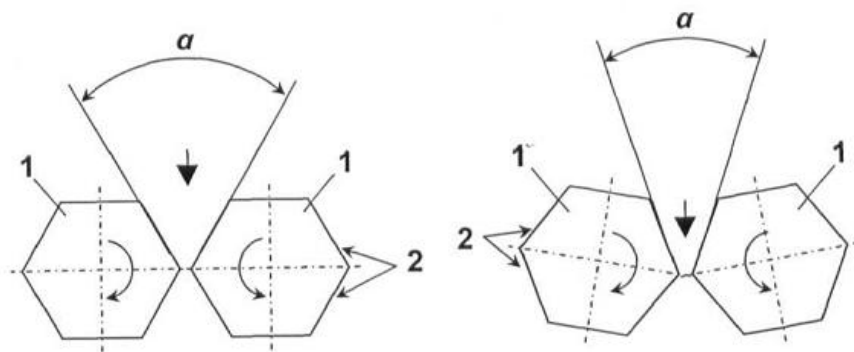


Рисунок 2 – Послідовність положень валків дробарки під час дроблення матеріалу [2]

Результати моделювання. На рис.3 показані результати моделювання модернізованої конструкції у модулі Static Structural програмного комплексу Ansys [3].

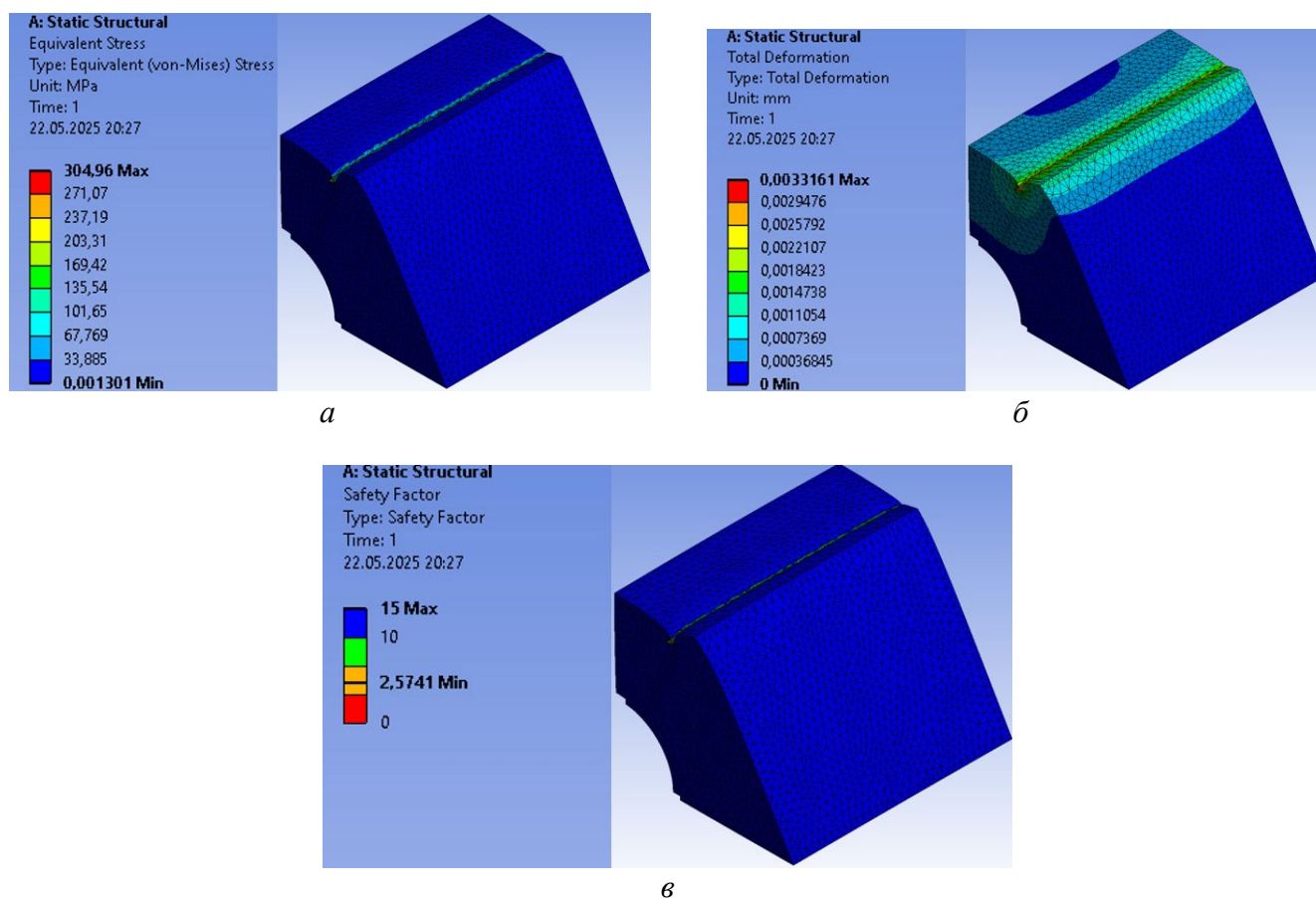


Рисунок 3 – Результати моделювання: *а* – еквівалентних напружень; *б* – загальної деформації; *в* – коефіцієнту запасу міцності

Висновки. Запропонована модернізація валкової дробарки дозволить підвищити ефективність роботи за рахунок зменшення витрат на технічне обслуговування та частоту технічного обслуговування за рахунок того, що валкова дробарка буде уникати поштовхів, вібрацій і струсів під час роботи, а також забезпечить кращу якість подрібнюваного матеріалу за рахунок симетричності прикладених на дроблення зусиль.

Перелік посилань

1. Конспект лекцій до розділу «Механічні процеси» з курсу —Процеси та апарати хімічних виробництв» для студентів III-IV курсів механічних спеціальностей / Укл. С.О. Опарін. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2012. – 112 с. URL: https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/08/Paht_2729.pdf.
2. Валок валкової дробарки : пат. 90397U Україна / І. О. Мікульонюк ; Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут" ; № u201314925 ; заявл. 19.12.2013 ; опубл. 26.05.2014, Бюл. № 10. 4 с.
3. Ansys : Engineering Simulation Software. URL: <https://www.ansys.com> (дата звернення: 26.05.2025).

Модернізація сита вібраційного грохота з метою підвищення продуктивності та ефективності розділення матеріалу

Гора І.Г., студ., Шилович Т.Б., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Метою роботи являється модернізація конструкції сита вібраційного грохота за рахунок оптимізації траєкторії руху матеріалу на ситі. Це дозволяє підвищити ефективність розділення матеріалів на фракції, зменшити зношування елементів та підвищити продуктивність обладнання на 15%.

Ключові слова: вібраційний грохот, модернізація, сито, продуктивність, числове моделювання.

Вступ. У промисловості широко застосовуються вібраційні грохоти для сортування, розділення та просіювання матеріалів. Вони незамінні в гірничодобувній, будівельній, харчовій, хімічній та металургійній галузях [1]. Головним елементом грохота є сито, через яке відбувається розділення фракцій.

Існуючі моделі вібраційних грохотів демонструють обмежену ефективність через засмічення сита великими фракціями або втрати дрібного продукту. Для вирішення цієї проблеми було вдосконалено конструкцію грохоту шляхом впровадження системи трамплінів 11 (рис.1), що підвищують ефективність розділення матеріалу на ситах 1-4 [2].

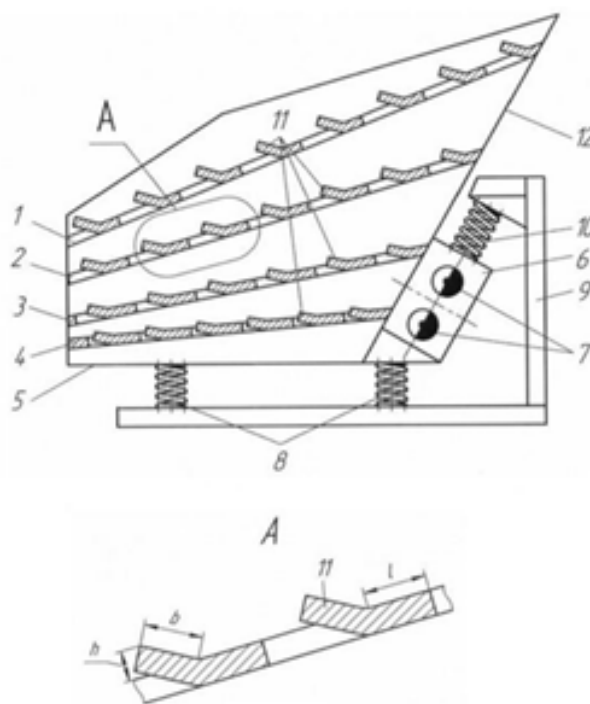


Рисунок 1 – Модернізація сит трамплінами

Запропонована модернізація передбачає розташування сит під кутами 6°, 11°, 20°, 36°, та зміни параметрів коливаль. З метою підтвердження працездатності запропонованої конструкції в роботі було створено 3D-модель в середовищі SolidWorks, а в ANSYS проведено числове моделювання. Враховано геометричні та силові характеристики.

Виконано наступні розрахунки: загальних деформацій, пружної деформації, еквівалентних напружень за Мізесом, запас міцності (рис. 2-5) [3].

На трампліні було задано гравітаційні навантаження та навантаження тиску.

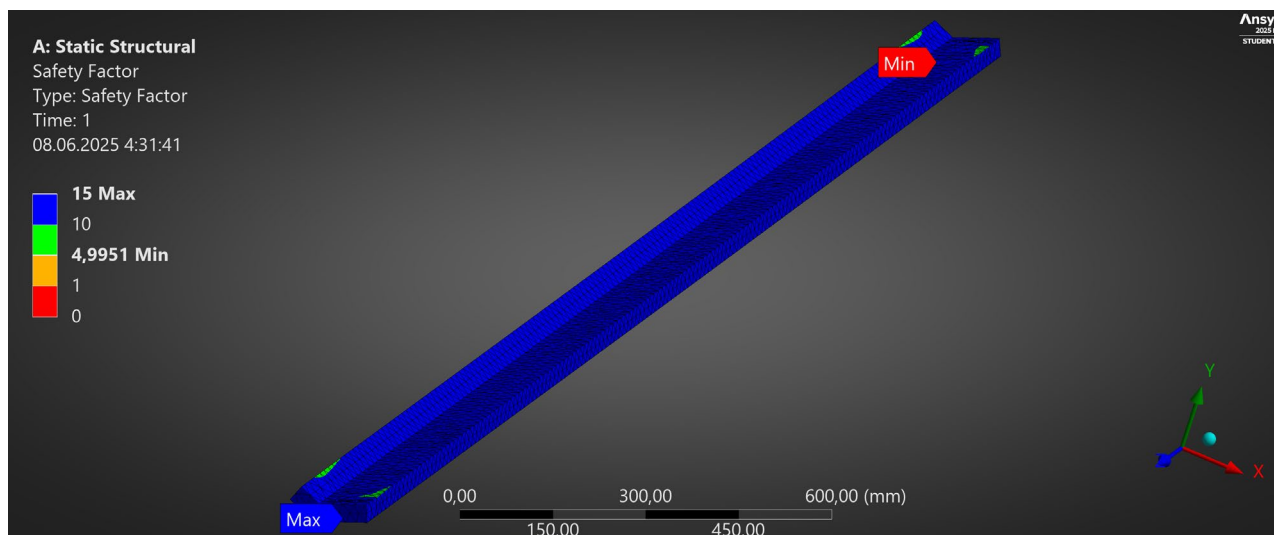


Рисунок 2 – Запас міцності трампліна №1

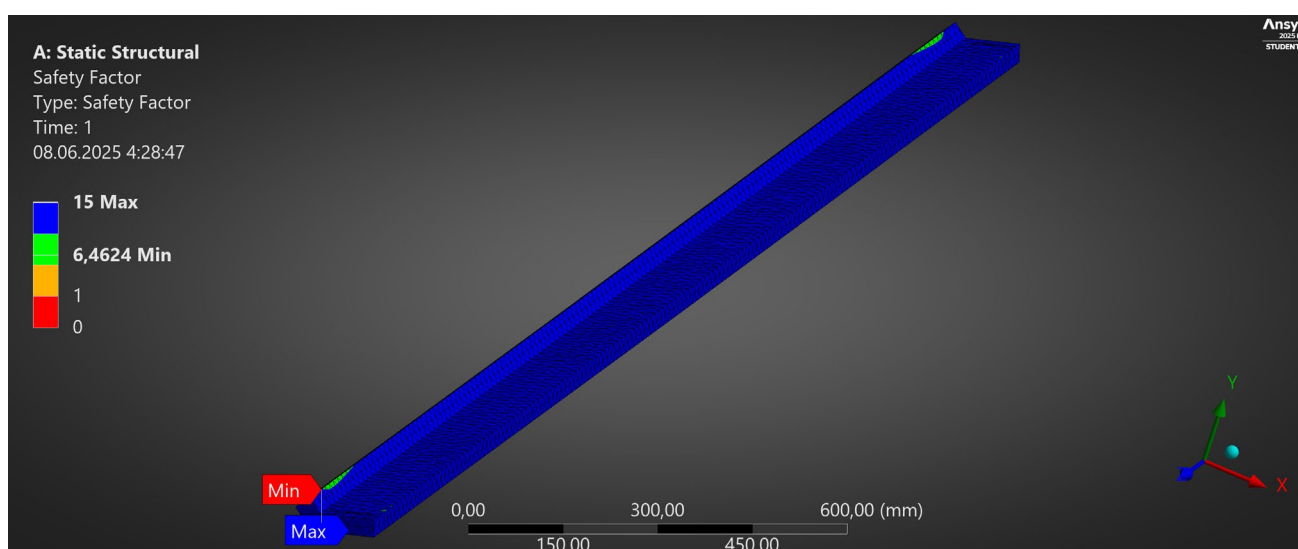


Рисунок 3 – Запас міцності трампліна №2

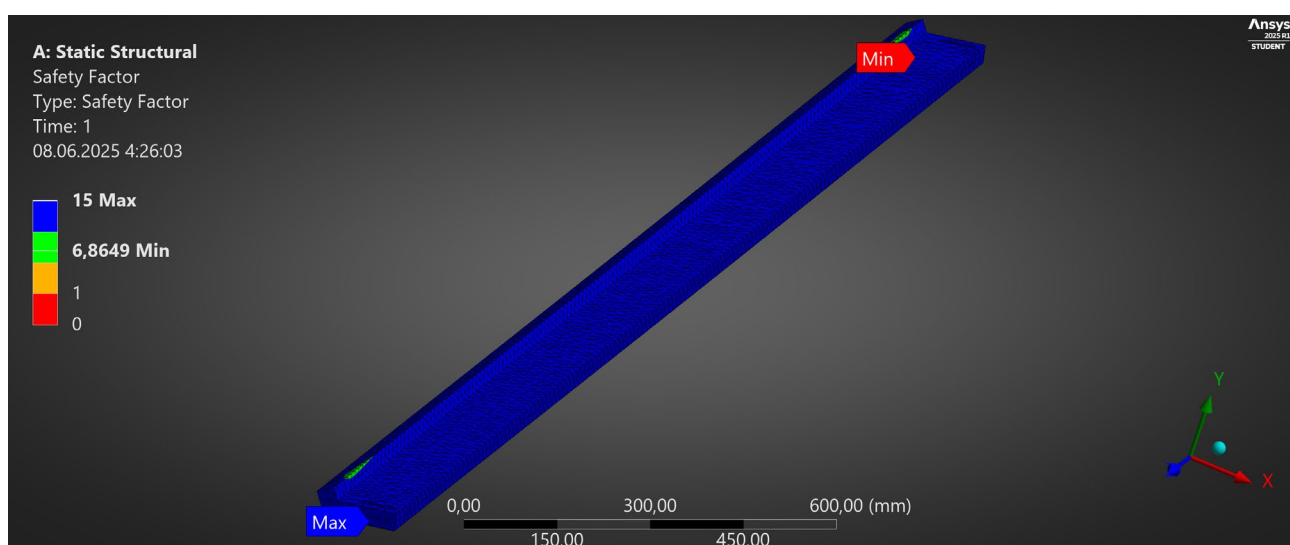


Рисунок 4 – Запас міцності трампліна №3

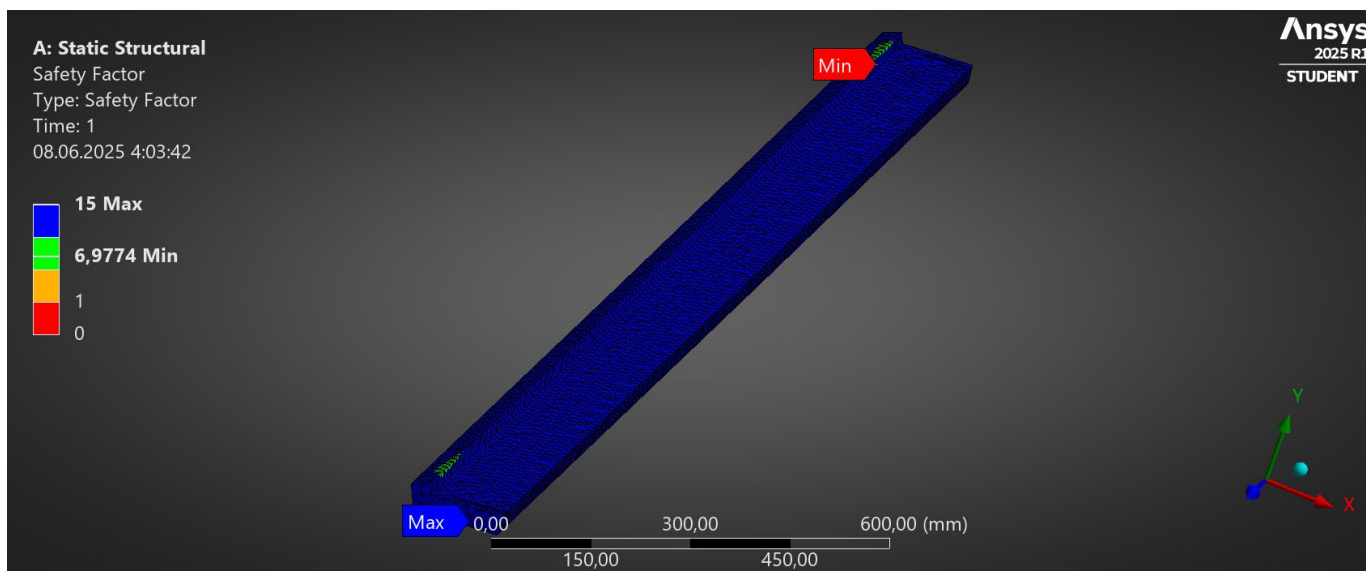


Рисунок 5 – запас міцності трампліна №4

Висновки. Проведений комплексний аналіз модернізованої конструкції сита вібраційного грохота, що включає оцінку загальних та пружних деформацій, а також дослідження розподілу еквівалентних напружень відповідно до критерію Мізеса, дозволив отримати достовірні результати для подальших висновків. Доповнення цього аналізу обчисленням запасу міцності конструктивних елементів дало змогу повною мірою оцінити її працездатність та надійність у виробничих умовах.

На підставі отриманих числових значень можна стверджувати, що всі параметри залишаються в межах установлених нормативами допустимих значень. Це свідчить про відсутність критичних навантажень у конструкції, що могло б призвести до її передчасного зносу або руйнування. Відповідно, це підтверджує високий рівень механічної стійкості та надійності розробленого технічного рішення.

Крім того, розрахований запас міцності свідчить про значну стійкість конструкції до експлуатаційних навантажень, що є важливою умовою для забезпечення довготривалої та безпечної роботи обладнання в умовах реального виробництва, включаючи можливі перевантаження або нестандартні режими експлуатації.

Таким чином, результати виконаного моделювання і розрахунків демонструють ефективність запропонованих технічних рішень, обґрунтовують доцільність проведеної модернізації, та підкреслюють її позитивний вплив на експлуатаційні характеристики грохота. Це, у свою чергу, підтверджує можливість і необхідність подальшого впровадження удосконаленої конструкції в промислову практику з метою підвищення продуктивності та надійності технологічного процесу загалом.

Перелік посилань

1. Металлургия чугуна / Єфименко Г.Г., Гіммельфарб А.А., Левченко В.Є. – К.: Вища школа, 1981. – С. 64–66.
2. Пат. Україна № 99365, МПК B07B 1/00. Вібраційний багатоситний грохот / Бойко В.С.; заявник і власник: НТУУ «КПІ»; № u200413543; заявл. 29.12.2004; опубл. 15.07.2005, Бюл. № 7.
3. Zhou, S., Meng, L., Du, Y., & Wang, Z. (2025). *Dynamic analysis of a new type of linear vibrating screen with adjustable vibration direction angle*. *Vibroengineering Procedia*, 58, 118–123.

Моделювання напружено-деформованого стану конуса дробарки

Панченко Є.О., студ., Скомороха Н.В., студ., Ішук В.Є., студ.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Анотація. Запропоновано модернізацію конусної дробарки шляхом встановлення пристрою регулювання робочого зазору, що забезпечує захист від перевантажень та підвищує надійність машини.

Ключові слова: конусна дробарка, модернізація, конус, напружено-деформований стан.

Вступ. Конусна дробарка середнього дроблення призначена для подрібнення твердих і крихких матеріалів, зокрема аглопориту. Основу її конструкції становить дві конусні поверхні — нерухомий зовнішній конус (корпус дробарки) та рухомий внутрішній конус (дробильна головка) [1-5].

У патенті [6] розглянуто вдосконалену конусну дробарку для подрібнення каменю та подібних твердих матеріалів. Метою роботи було усунення проблем, притаманних традиційним дробаркам: швидке зношування підшипників і опор вала; складність у демонтажі дробильного конуса при заміні; вразливість гідросистеми до ударних навантажень. У пропонуваній конструкції вал дробарки встановлено на гідропоршні, який змонтований в ексцентричній обертовій втулці. Під поршнем в гідравлічній камері передбачено еластичне тіло, що гасить удари. Подача мастила реалізується через спеціальний обертовий вузол, який захищає ущільнення від надлишкового тиску.

Конструктивне виконання дробарки із пропонуваними змінами показано на рис. 1.

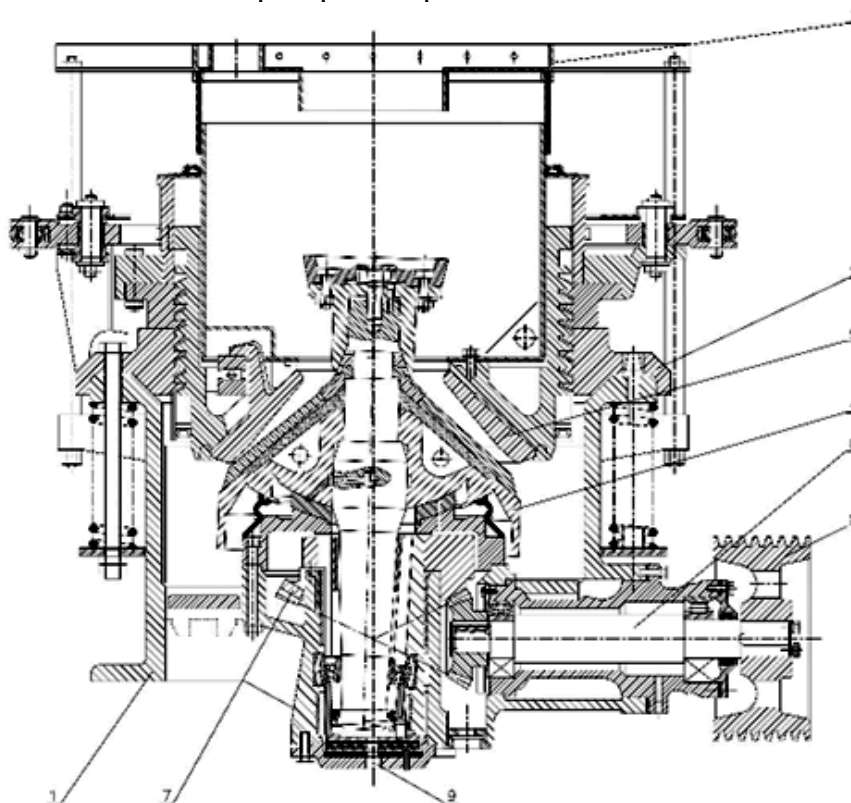


Рисунок 1 – Конструктивне виконання конусної дробарки:

- 1 – корпус; 2 – дробильний конус 3 – матриця (статор); 4 – привід; 5 – регульовальна система; 6 – подаюча система; 7 – вихідний патрубок; 8 – система охолодження; 9 – підшипник

Для перевірки напружено-деформованого стану, було виконано розрахунок модернізованої згідно [6] конструкції на напруження у модулі static structural програмного комплексу Ansys [7].

Як граничні умови, було задано навантаження згідно розрахунку 832,5 Н. Розподіл переміщень і еквівалентних напружень у конусі дробарки показано на рис. 2-4.

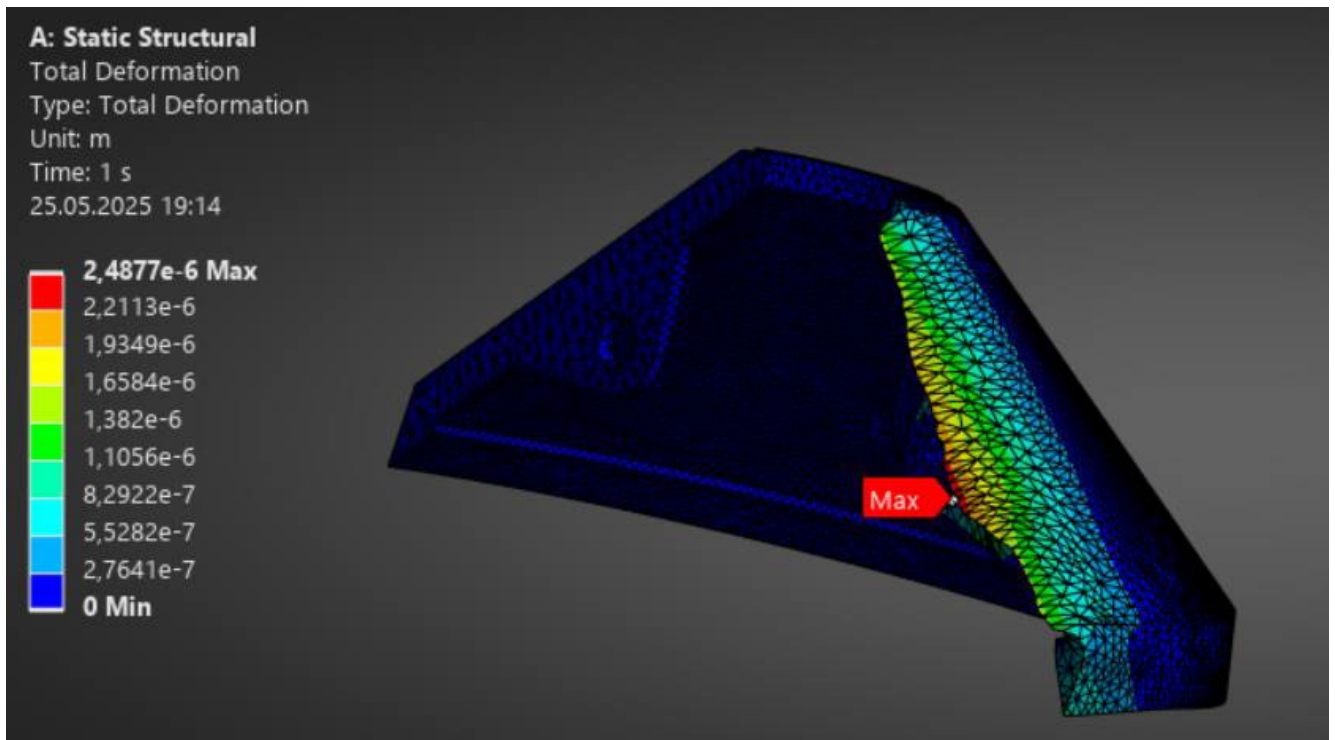


Рисунок 2 – Загальні переміщення

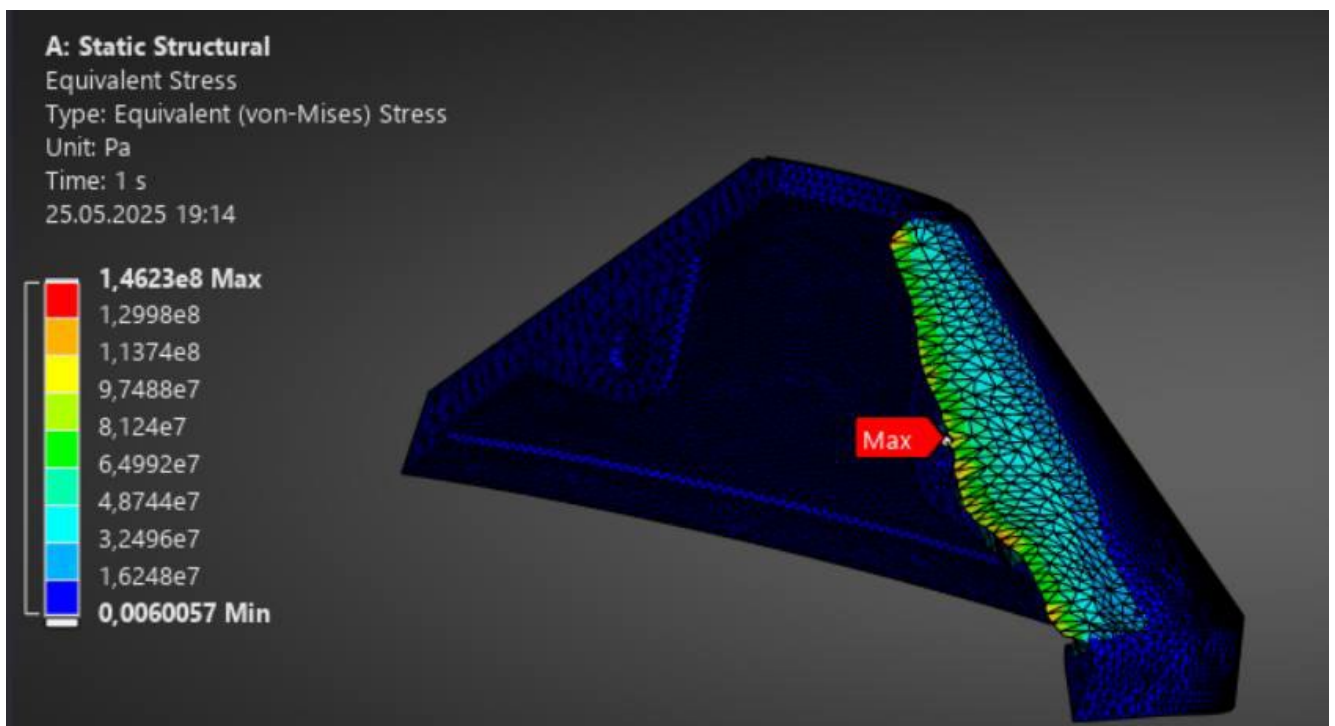


Рисунок 3 – Еквівалентні напруження конструкції

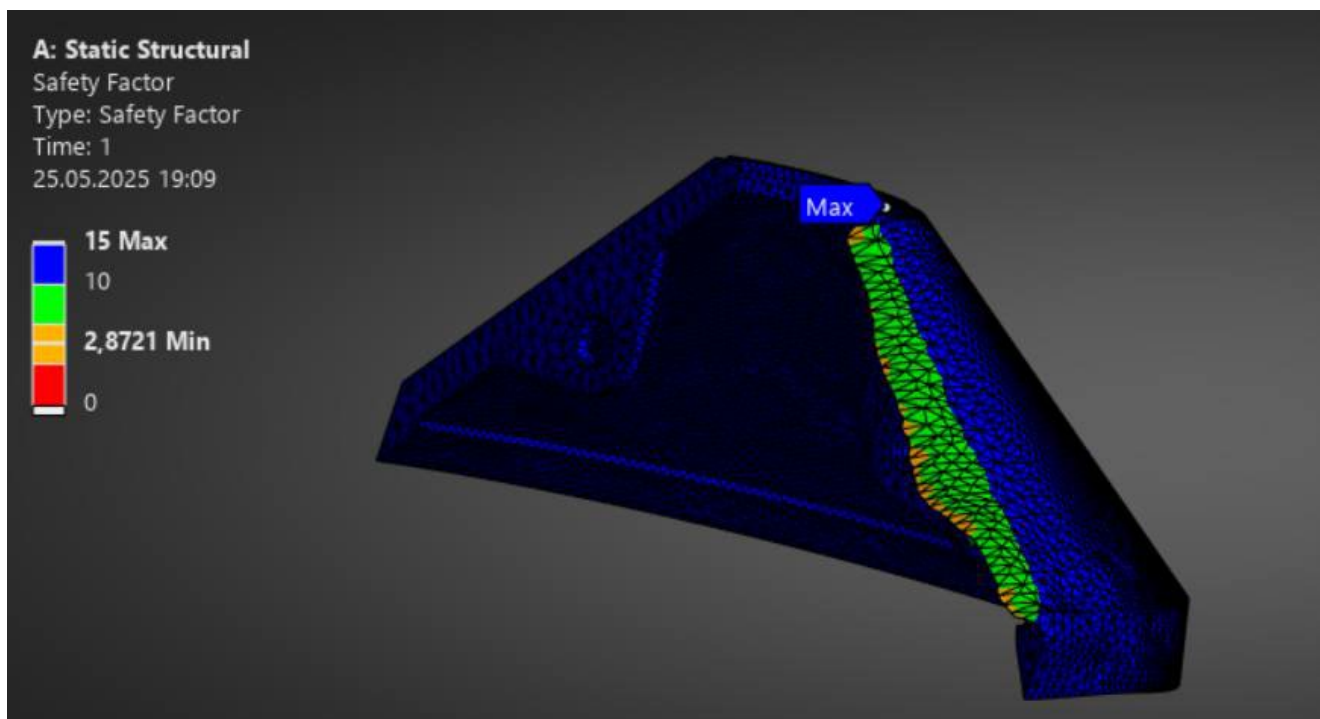


Рисунок 4 – Запас міцності конструкції

Згідно розрахункам, отримане максимальне значення еквівалентного напруження порівнюючи з допустимим значенням сталі 50Г2 є в діапазоні допустимого. Також згідно показникам коефіцієнту запасу міцності – 2,8721, умова міцності виконується. Отже деталь є працездатною.

Висновки. Було виконано проектування та числовий розрахунок на міцність конуса конусної дробарки. У результаті виконано всі необхідні обґрунтування, що підтверджують доцільність застосування конусної дробарки для переробки аглопориту. Доведено її переваги, зокрема високу продуктивність та ефективність у середньому дробленні будівельних матеріалів.

Перелік посилань

1. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів навч. посіб. 3-тє вид., переробл. та доповн. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/68766>.
2. І. О. Мікульонок, О. Л. Сокольський. Полімерні матеріали і вироби з них (одержання, перероблення, властивості) [Електронний ресурс] : термінологічний словник. Київ : НТУУ «КПІ» Вид-во «Політехніка», 2019. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37632>.
3. Сафонов В. Г. Конусні дробарки: принципи роботи, розрахунки та експлуатація. – Дніпро: Університет видобувних технологій, 2019. – 198 с.
4. Бондаренко В. І., Лозинський О. М. Дробильне та помольне обладнання. – Київ: Видавництво Політехнічного інституту, 2018. – 256 с.
5. ДСТУ 2203-93. Дробарки конусні. Технічні умови. – Київ: Держстандарт України, 1993.
6. Патент US4391414A США. Cone crusher. МПК B02C2/06. 05.06.1983. URL: <https://patents.google.com/patent/US4391414A/en> (дата звернення 03.06.2025).
7. Ansys : Engineering Simulation Software. URL: <https://www.ansys.com> (дата звернення: 11.11.23).

Модернізація корпусу кульового млина СМ436 для подрібнення вапняку

Карпенко Д.В., студ., Гунчар Д.О., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано модернізацію корпусу кульового млина, яка полягає у використанні кільцевих вставок, що сприяє збільшенню жорсткості корпусу барабана і забезпечує рівномірний розподіл навантажень на його обичайку. Проведено числовий аналіз напружено-деформованого стану геометричних моделей корпусу млина до і після модернізації. Показано, що запропонована модернізація корпусу млина підвищує його ресурс експлуатації в 1,06 рази порівняно з базовою конструкцією.

Ключові слова: кульовий млин, корпус, напружено-деформований стан, модернізація, ресурс експлуатації.

Вступ. Одним з найпоширеніших типів млинів для розмелювання твердого матеріалу є барабанний кульовий млин, який представляє собою обертовий, зазвичай, циліндричний, барабан, частково заповнений молотильними тілами у вигляді куль [1].

Для модернізації корпусу кульового млина запропоновано конструкцію за пат. № 109670U [2], суть якого полягає у використанні кільцевих вставок з метою збільшення жорсткості корпусу барабана та забезпечення рівномірного розподілу навантажень на його обичайку.

Для розробки геометричних моделей та числового моделювання напружено-деформованого стану (НДС) корпусу кульового млина базової та модернізованої конструкцій використано CAD-CAE-системи SolidWorks [3], ANSYS Workbench [4] і математичне формулювання задачі [5]. 3D-моделі корпусу млина до і після модернізації показано на рис. 1, а схема навантаження та результати числового аналізу НДС на рис. 2–4.

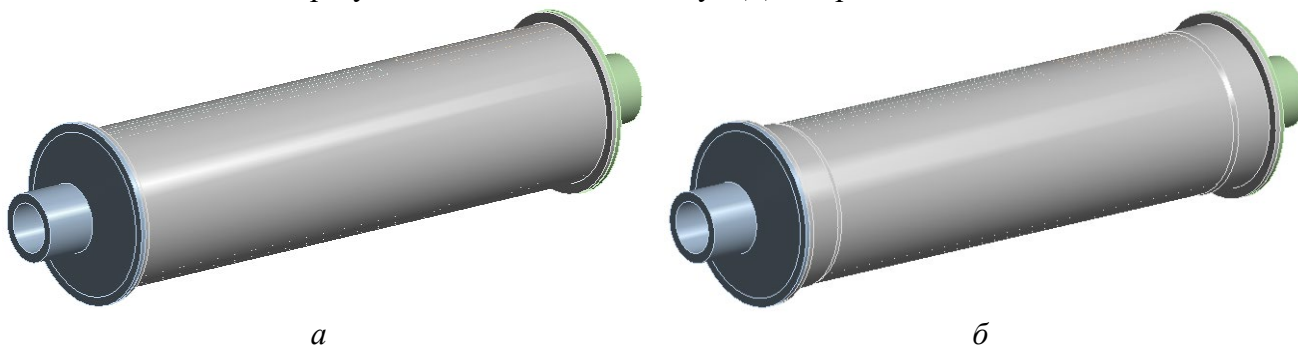


Рисунок 1 – 3D геометричні моделі корпусу млина до (а) і після модернізації (б)

Оцінка підвищення ресурсу експлуатації корпусу млина за рахунок застосування його модернізації за пат. № 109670U проведена за методикою [1]. Для малоциклової втоми матеріалів можна записати співвідношення вигляду

$$\sigma_a N^\mu = \text{const}, \quad (1)$$

де $\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$ – амплітуда напружень, МПа; N – кількість циклів роботи обладнання до руйнування; $\mu=0,5$ – показник ступеня.

Тому для оцінки підвищення ресурсу експлуатації корпусу млина в результаті його модернізації порівняно з базовою конструкцією можна скористатися формулою

$$\sigma_a^b N_b^\mu = \sigma_a^m N_m^\mu, \quad (2)$$

де σ_a^b і σ_a^m – амплітуда напружень базової і модернізованої конструкцій, відповідно, МПа; N_a і N_m – кількість циклів роботи обладнання до руйнування базової і модернізованої конструкцій, відповідно, МПа.

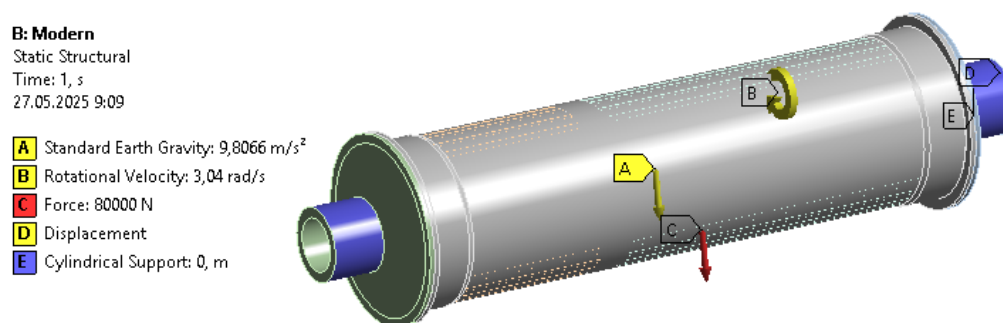
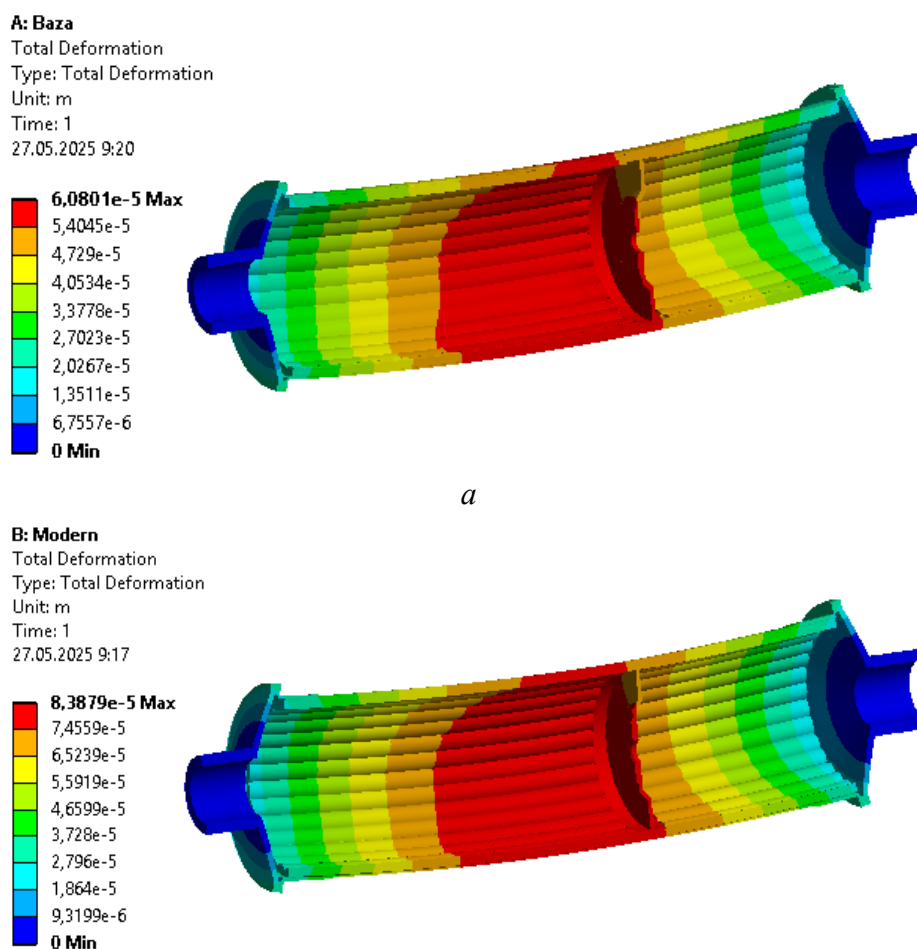


Рисунок 2 – Схема навантаження модернізованого за пат. № 109670U корпусу кульового млина



а

б

Рисунок 3 – Поле результуючих переміщень корпусу млина до (а) і після модернізації (б)

Із співвідношення (2) неважко визначити

$$\frac{N_b}{N_a} = \left[\frac{\sigma_a^b}{\sigma_a^m} \right]^2,$$

При $\sigma_a^b = 2,833 \cdot 10^6$ МПа і $\sigma_a^m = 2,751 \cdot 10^6$ МПа отримуємо, що підвищення ресурсу експлуатації модернізованого корпусу млина порівняно з базовим становить 1,06 рази.

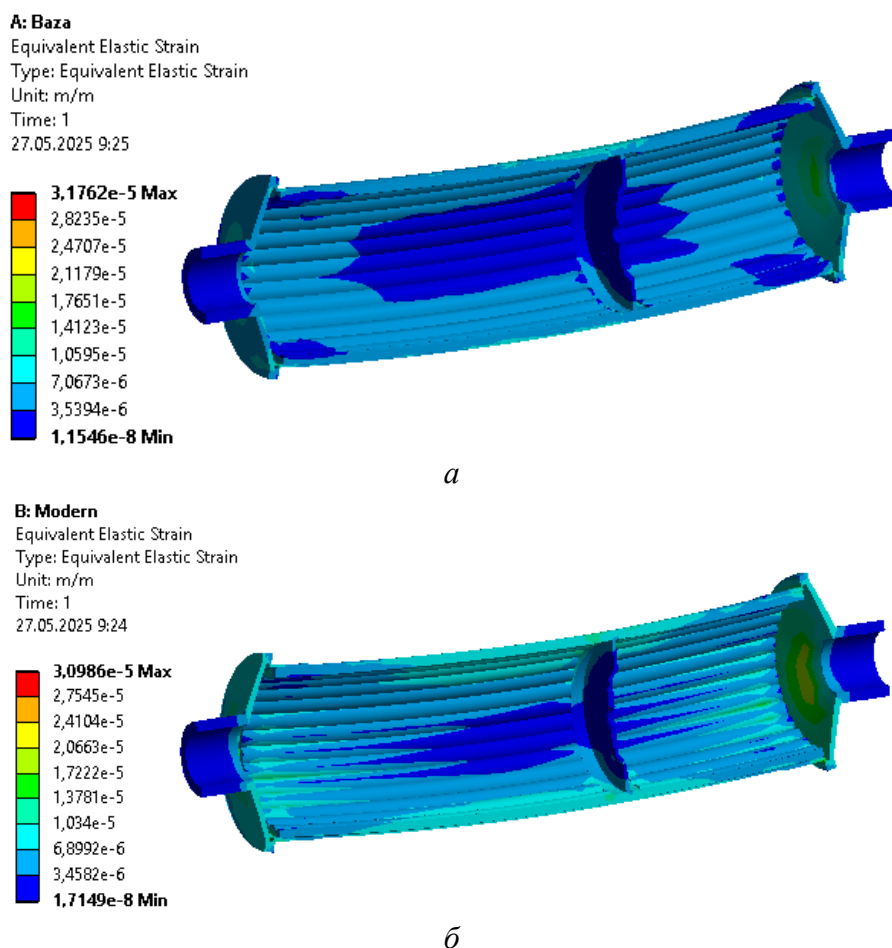


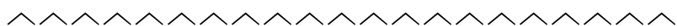
Рисунок 4 – Поле еквівалентних напружень за Мізесом корпусу млина до (а) і після модернізації (б)

Висновки. Запропоновано модернізацію корпусу кульового млина, яка полягає у використанні кільцевих вставок, що сприяє збільшенню жорсткості корпусу барабана і забезпечує рівномірний розподіл навантажень на його обичайку. Виконано оцінку ресурсу обладнання, яка показала, що запропонована модернізація підвищує ресурс експлуатації корпусу млина в 1,06 рази порівняно з базовою конструкцією.

Перелік посилань

1. Мікульонок І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології [Електронний ресурс] : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 175 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66408>.
2. Барабанний млин : пат. 109670U Україна / С. Л. Мартиненков, А. Г. Петров ; № u201603127 ; заявл. 25.03.2016 ; опуб. 25.08.2016, Бюл. № 16/2016. 4 с.
3. Solidworks. URL: <https://www.solidworks.com/> (дата звернення: 11.02.25).
4. Ansys : Engineering Simulation Software. URL: <https://www.ansys.com> (дата звернення: 11.03.25).
5. Карвацький, А. Я. Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ. Лабораторний практикум з навчальної дисципліни [Електронний ресурс] : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 392 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/23916>.
6. Шукаєв С.М., Лавренко Я.І. Міцність при змінних навантаженнях [Електронний ресурс]: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 128 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57249>.

СЕКЦІЯ МАШИНИ І ТЕХНОЛОГІЇ ПАКУВАННЯ



Переробка паперової упаковки в Україні

Шилович Т.Б., к.т.н., доц., Усюк І.С., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

У зв'язку з тенденцією до переходу від сталого розвитку до циркулярної економіки особливої уваги набуває питання переробки пакувальних матеріалів, в тому числі картонних та паперових. Робота присвячена аналізу проблеми утилізації паперу та шляхів її розв'язання в Україні.

Ключові слова: паперова упаковка, макулатура, сортування, пульпація, циркулярна економіка.

Вступ. Заміна пластикових пакувальних матеріалів на більш екологічні, в тому числі паперові та картонні, призводить до утворення більшої кількості відходів цих матеріалів. Наприклад, у 2023 році обсяг ринку картонно-паперової упаковки для харчових продуктів склала 10 млрд. гривень, що на 4 млрд. менше від показника 2021 року та вдвічі більше від цього ж показника за 2022 рік, що вказує на доволі швидке відновлення продуктивної діяльності даного ринку, навіть в умовах війни. Так, за перші 5 місяців 2024 року об'єм ринку склав 70% від показника 2023 року [1]. Паперова упаковка представлена такими видами, як картонні коробки, пакети, одноразовий посуд. Пакувальний папір, як і будь яка інша упаковка, перетворюється у відходи та потрапляє на звалище. Розумна система збору та утилізація макулатури допомагає економити природні ресурси, зменшувати викиди парникових газів та створювати нові робочі місця.

Як працює переробка паперу в Україні. Система переробки макулатури в Україні складається з таких етапів:

1. Збір макулатури. Спеціальні контейнери для сухого паперу встановлені у дворах, біля торговельних центрів та офісів. Сировину вивозять комунальні служби або приватні оператори.
2. Сортування. На підприємствах папір розділяють на чисті аркуші, картон та газетні шпальти.
3. Подрібнення та пульпація. Сировину замочують у воді, видаляють фарбу та клей, потім отриману масу очищують і готують до формування.
4. Відновлення полотна та картону. Очищену пульпу перетворюють на нові рулони паперу або картону. Кожен цикл погіршує якість приблизно на 10 %, але сучасні технології дають можливість багаторазово переробляти матеріал [2].

В Україні працюють понад 20 паперобробних підприємств, які у 2023 році опрацювали понад 400 000 тонн макулатури — близько 80 % від поточного потенціалу переробки.

Обухівський комбінат паперової продукції (Київ). Київський картонно-паперовий комбінат (м. Обухів) одне з найбільших підприємств паперової галузі. Завод оснащений автоматизованими лініями пульпації та системами видалення забруднень. У 2023 році було перероблено близько 50 000 тонн макулатури, що становить понад 12 % від усіх паперових відходів Києва. Крім виробничих потужностей, підприємство проводить навчальні програми для мешканців столиці, щоб підвищити якість сортування [3].

Інноваційні технології та перспективи розвитку сектора переробки паперової упаковки. Інноваційні технології та перспективи розвитку сектора переробки паперової упаковки включають автоматизацію сортувальних ліній із використанням AI-систем та оптичних сенсорів для миттєвого розпізнавання різних видів паперу й робототехнічних рукавів для вилучення забруднених фракцій; хімічне рециркуляційне перероблення, яке дозволяє

розщеплювати целюлозу на мономері з подальшим відновленням полімерної структури та замикати цикл виробництва; цифрові платформи на базі блокчейн для прозорого обліку та онлайн-торгівлі макулатурою за ринковими цінами; розвиток моделі державно-приватного партнерства та залучення «зелених» інвестицій і європейських грантів для будівництва регіональних сортувальних комплексів; а також масштабні освітні й інформаційні кампанії в навчальних закладах і громадах із мотиваційними програмами для споживачів, що сприятиме підвищенню рівня відбору макулатури до 95 %, зниженню енергоспоживання на переробку до 30 % і формуванню сталого ринку вторинної сировини.

Мобільні сортувальні та переробні модулі для віддалених територій. Модульні пересувні лінії збору й сортування макулатури дозволяють полегшити збір і сортування побутових відходів у сільській місцевості та малих населених пунктах, зменшуючи логістичні витрати і викиди парникових газів, вони можуть забезпечити переробку до 50 тонн сировини на добу, а завдяки автономній роботі на біогазі або сонячних панелях підвищують енергонезалежність і відкривають нові ринки для місцевих комунальних підприємств.

Переваги переробки паперової упаковки:

1. Екологічність: зменшення відходів на звалищах, менша вирубка лісів, зниження викидів парникових газів [4].
2. Економіка: макулатуру закупають за ціною 1 500–3 000 грн. за тонну, що стимулює розвиток галузі та створює робочі місця.
3. Циркулярність. Матеріал повертається в обіг кілька разів із мінімальними втратами якості.

Виклики та обмеження:

1. Якість сировини. Забруднення паперу органікою, клеєм або поліетиленом знижує ефективність переробки.
2. Логістика. Віддалені регіони, де до заводів понад 100 км, витрати на транспорт зростають значно.
3. Інфраструктура. Лише близько 30 % домогосподарств мають доступ до контейнерів для макулатури.
4. Обізнаність. Поширювати інформацію про можливість збору та утилізації паперу серед населення.

Висновки. До 2030 року в Україні є можливості подвоїти обсяги переробки – понад 800 000 тонн паперу щороку [5], вивести стандарти сортування та утилізації на рівень країн ЄС, створити 5 000–7 000 нових робочих місць. Це принесе додатковий економічний і соціальний ефект.

Перелік посилань

1. Аналіз ринку паперової та картонної упаковки для харчових продуктів (первинної, вторинної, транспортної) в Україні. 2024 рік. <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-bumazhnoj-i-kartonnoj-upakovki-dlya-pishevyh-produktov-pervichnoj-vtorichnoj-transportnoj-v-ukraine-2024-god>.
2. Українська асоціація паперової промисловості. Звіт за 2023 рік. Київ : Українська асоціація паперової промисловості, 2024.
3. «Київський картонно-паперовий комбінат», 2023. URL: <https://www.papir.kiev.ua>.
4. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Еко-статистика 2023. Київ : Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 2023.
5. Центр соціологічних досліджень «Соціополіс». Опитування домогосподарств. Київ : Центр соціологічних досліджень «Соціополіс», 2023.

Модернізація розливного патрону

Остапчук М.О., студ., Карасьов В.С., студ., Діденко Л.В., ас.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропонована модернізація розливного патрона, яка дає можливість встановлювати декілька режимів течії.

Ключові слова: розливний патрон, течія, дозування.

Вступ. Розливний автомат – це пристрій, призначений для наповнення ємностей рідинами (харчовими продуктами, хімічними речовинами, косметикою тощо) із високою точністю та продуктивністю. Робота автомата базується на автоматизації процесів дозування, наповнення та герметизації ємностей, що забезпечує ефективність і якість виробництва.

Його робота базується на автоматизації процесів дозування, наповнення та герметизації ємностей, що забезпечує ефективність і якість виробництва. Основні етапи роботи розливного автомата включають подавання рідини до дозатора через спеціальні трубопроводи, дозування відповідно до заданих параметрів (об'єм або вага), наповнення ємностей (рідина потрапляє до пляшок, банок чи інших контейнерів через форсунки або клапани) і закупорювання або герметизацію (після наповнення ємності можуть бути автоматично закриті кришками чи плівкою). Існують різні типи розливних автоматів: вакуумні (використовують перепад тиску для заповнення ємностей, підходять для рідин із низькою в'язкістю), об'ємні (вимірюють кількість рідини за допомогою поршнів або камер, що гарантує точність дозування), гравітаційні (рідина подається за рахунок сили тяжіння, ідеально підходять для нев'язких рідин) та автомати із використанням насоса (підходять для густих і в'язких рідин, як-от соуси, креми або масла).

Перевагами розливних автоматів є висока точність (дозволяють уникнути перевитрат або недоливу продукту), швидкість (здатність наповнювати десятки або сотні ємностей за хвилину), гігієнічність (забезпечують стерильність процесу, що особливо важливо в харчовій і фармацевтичній галузях), економічність (зменшення втрат продукту завдяки точному дозуванню) і універсальність (можливість роботи з ємностями різних розмірів і форм).

Серед недоліків можна виділити високу вартість обладнання, необхідність обслуговування і технічного догляду, а також обмеження за типом рідини (не всі автомати можуть працювати з густими, агресивними або газованими продуктами). Розливні автомати активно застосовуються в харчовій промисловості для розливу соків, молока, соусів, у фармацевтиці для фасування сиропів і розчинів, у косметичній для наповнення кремів і шампунів, а також у хімічній галузі для фасування мийних засобів і олів. Розливні автомати є ключовим елементом автоматизації виробництва, який забезпечує точність і ефективність роботи, а їх вибір залежить від типу рідини, продуктивності та особливостей виробничого процесу.

На рис. 1 показано конструкцію розливного патрону [1]. Розливний патрон має поршень 1, який рухає лінійний привід 2, що має виріз 3, який дає змогу наповнювати тару з високою точністю, направляючи потік в лінію 4. Поз. 5 представляє собою конструкцію пневматичного приводу в якому знаходиться пружина 6. На поз. 7 зображено виріз лінійного приводу 2, на якому є перша контрольна канавка 8, кінець першої контрольної канавки 9 та друга контрольна канавка 10, по яких може текти рідина при певному режимі течії. На поз. 11 можна побачити сам лінійний привід та його поверхню 12.

Таким чином, винахід дає змогу регулювати подачу рідини за рахунок лінійного приводу 2 та його вирізу 7, збільшити швидкість чи точність розливу та швидкий технічний огляд конструкції що є важливими можливостями для підприємства як дрібного так і великого.

Режим течії рідини в розливному патроні змодельовано в пакеті Ansys Fluent, що дає змогу встановити продуктивність дозування. На рис. 2–3 показано отримані результати моделювання.

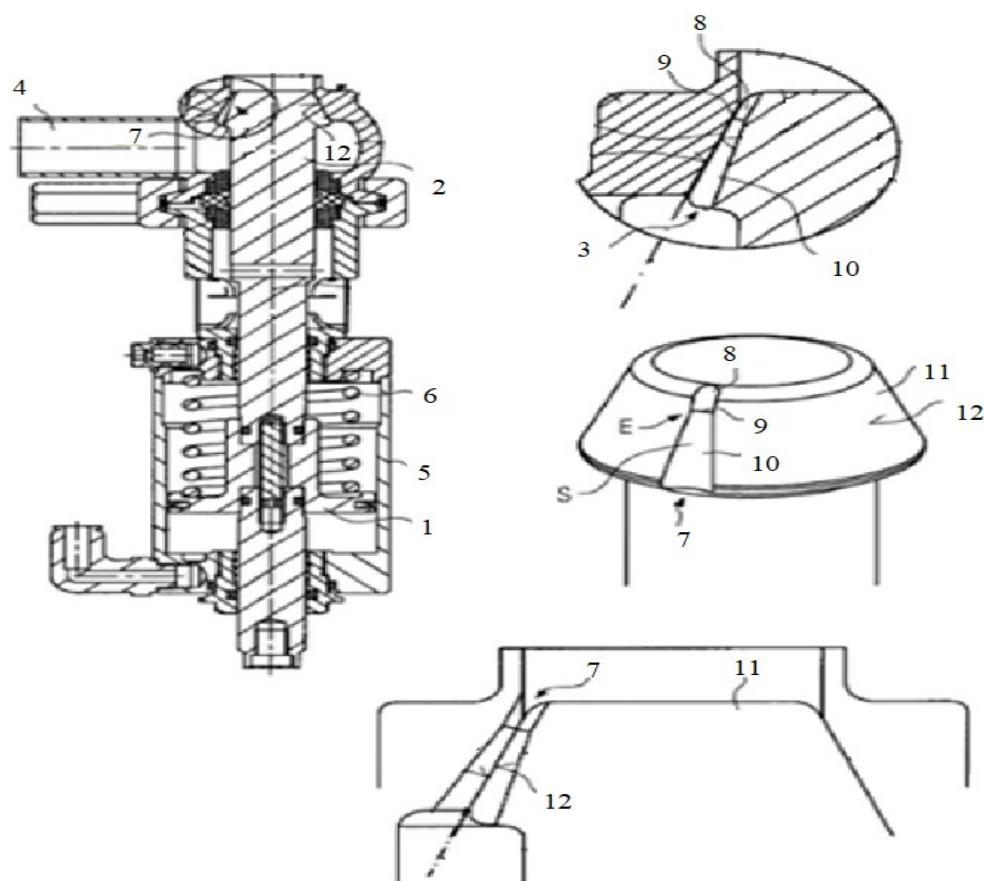


Рисунок 1 – Схематичне зображення розливного патрона [1] (пояснення в тексті)

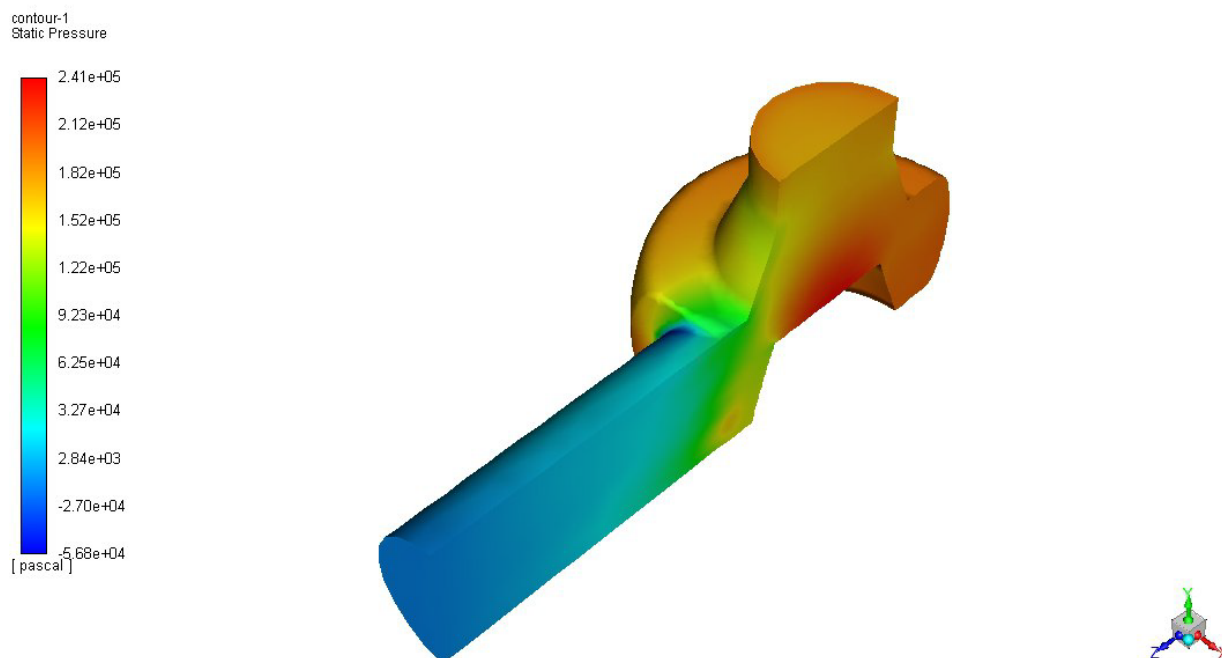


Рисунок 2 – Розподіл тиску

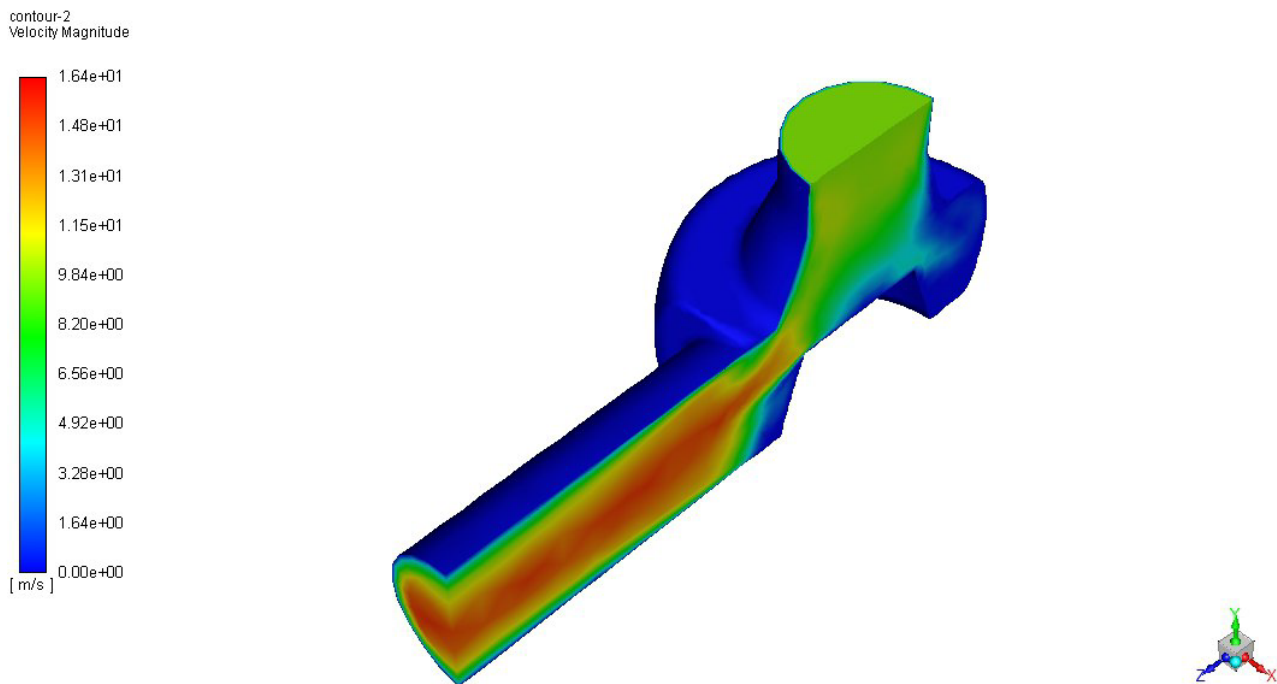


Рисунок 3 – Розподіл швидкостей

Висновки. У результаті проведеного комп'ютерного моделювання потоку гліцерину в модернізованій конструкції було отримано ключові гідродинамічні параметри, що дозволяють оцінити ефективність запропонованих змін.

Максимальне значення статичного тиску становить 2.41×10^5 Па, мінімальне – 5.68×10^4 Па. Отримані значення свідчать про наявність значних перепадів тиску в системі, що є очікуваним при русі в'язкої рідини складної геометрії. Водночас такі перепади не виходять за межі допустимого для даного типу рідини та конструкції.

Перелік посилань

1. Щербина В.Ю., Гондлях О.В., Чемерис А.О., Швачко Д.Г. AutoLISP при проектуванні технологічного обладнання [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2024. 175 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45732>.
2. Патент EP3255324B1 Ludwig Clüsserath. 2019-03-27. Дата подання заявки 2017-02-08.

Моделювання співекструзійного формування пакувальних плівок

Витвицький В.М., студ., Швець Д.А., студ., Сокольський О.Л., д.т.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Наведено результати дослідження моделювання співекструзії в'язкопружної течії у програмному комплексі Ansys Polyflow. Показано вплив зміни параметрів матеріалів на розподіл швидкостей та зміщення шарів течій в каналі співекструзійної рукавної головки.

Ключові слова: екструдер, співекструзійна головка, рукавна плівка, моделювання, співекструзія.

Вступ. Сучасна пакувальна індустрія висуває все більш жорсткі вимоги до матеріалів, зокрема щодо їх міцності, довговічності, екологічності та функціональності. Одним із перспективних напрямів розвитку є використання співекструзійного формування для створення багатошарових полімерних плівок, здатних забезпечити необхідні експлуатаційні характеристики. Важливим аспектом такої технології є врахування в'язкопружних властивостей матеріалів, що впливає на кінцеву структуру та механічні характеристики отриманих плівок [1-2].

У сучасному матеріалознавстві та інженерії полімерних процесів моделювання екструзії відіграє ключову роль у розробці технологій виготовлення багатошарових виробів. Метою проведеного дослідження було промоделювати співекструзійне виробництво полімерних плівок з урахуванням в'язкопружних характеристик матеріалів, зокрема визначити вплив витрати та в'язкості в'язкопружних матеріалів на розподіл товщини шарів. Моделювання співекструзії в'язкопружної течії виконано методом скінченних елементів у програмному комплексі Ansys Polyflow [3].

Розглянуто задачу, суть якої полягає в такому: спроектувати геометрію половини вісесиметричної головки, створити скінченноелементну сітку та промоделювати ізотермічну взаємодію в'язкопружної та неньютонівської або іншої в'язкопружної рідин в кількох кроках, змінюючи поступово компоненту в'язкості (або фактора в'язкості) однієї з рідин. Було розглянуто декілька варіантів, в даній роботі наведено результати з використанням неньютонівської (Закон Кроса [4]) та диференціальної в'язкопружної (модель Олдройда-Б [5]) рідин (табл. 1), з відповідними граничними умовами.

Таблиця 1 – Математичні моделі стану рідин та їх характеристики

Перша течія			Друга течія		
Тип	Неньютонівська (закон Кроса)		Тип	Диференціальна в'язкопружна (модель Олдройда-Б)	
Параметри	В'язкість з нульовою швидкістю зсуву	25000	Параметри	В'язкість	5000
		20000			
		15000		Час релаксації	0,1
		10000			
		5000		Відношення н'ютонівської в'язкості до повної зсувної в'язкості	0,11
	Час релаксації	0,24			
	Степеневий показник	0,32			

Геометрію каналів співекструзійної рукавної головки, в якому відбувається перемішування матеріалів, наведено на рис. 1. Канали були розбиті на декілька окремих доменів (робочих зон), для зручності розрахунків та задання відповідних граничних умов, розбиття

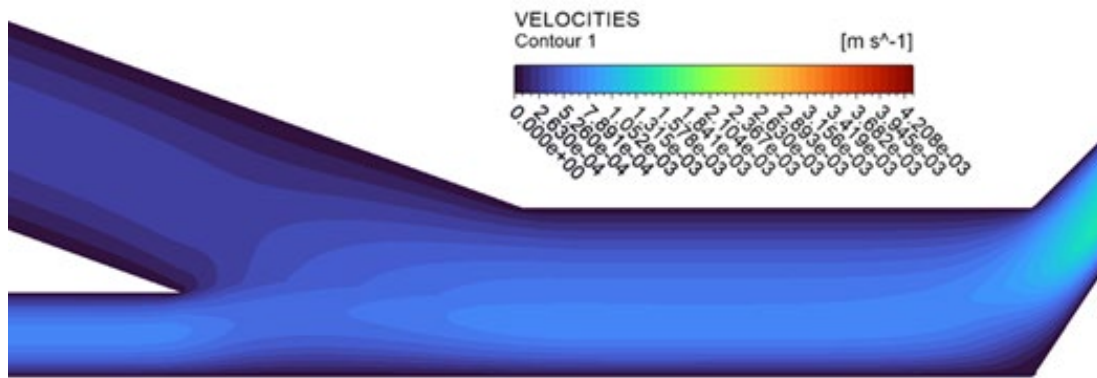


Рисунок 4 – Розподіл швидкостей після з'єднання каналів п'ятого кроку

Розподіл швидкостей на виході з головки першого кроку наведений на рис. 5, а п'ятого – на рис. 6.

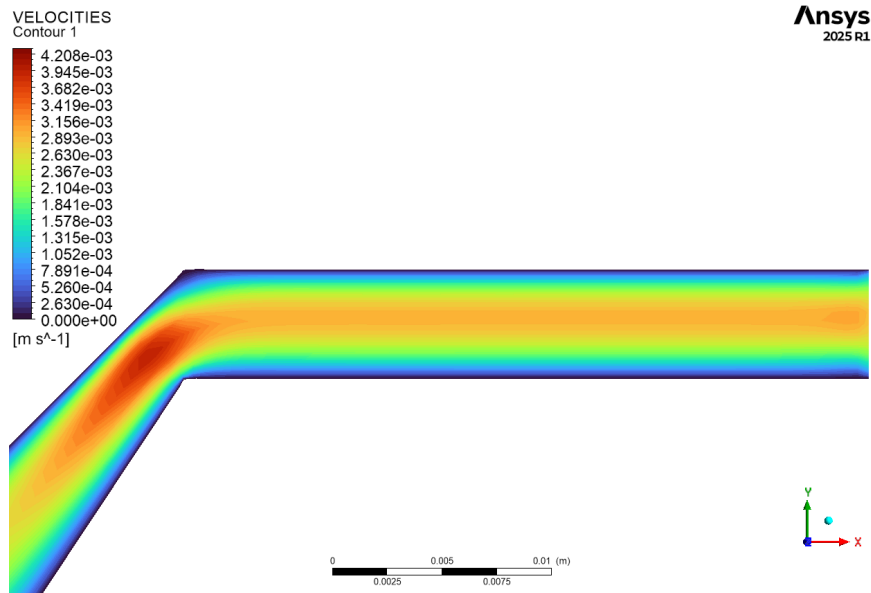


Рисунок 5 – Розподіл швидкостей на виході з головки першого кроку

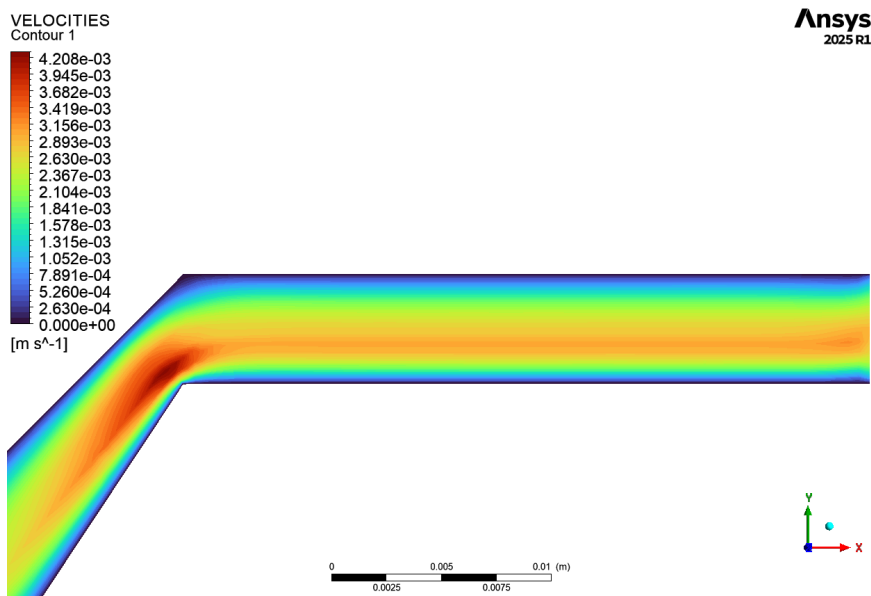


Рисунок 6 – Розподіл швидкостей на виході з головки п'ятого кроку

З рис. 3–6 бачимо, що об'єднаний потік з двох шарів матеріалу зміщується вбік через в'язкості першого матеріалу після об'єднання течій. Графік залежності швидкості від координати ширини каналу п'яти кроків після з'єднання течій наведений на рис. 7.

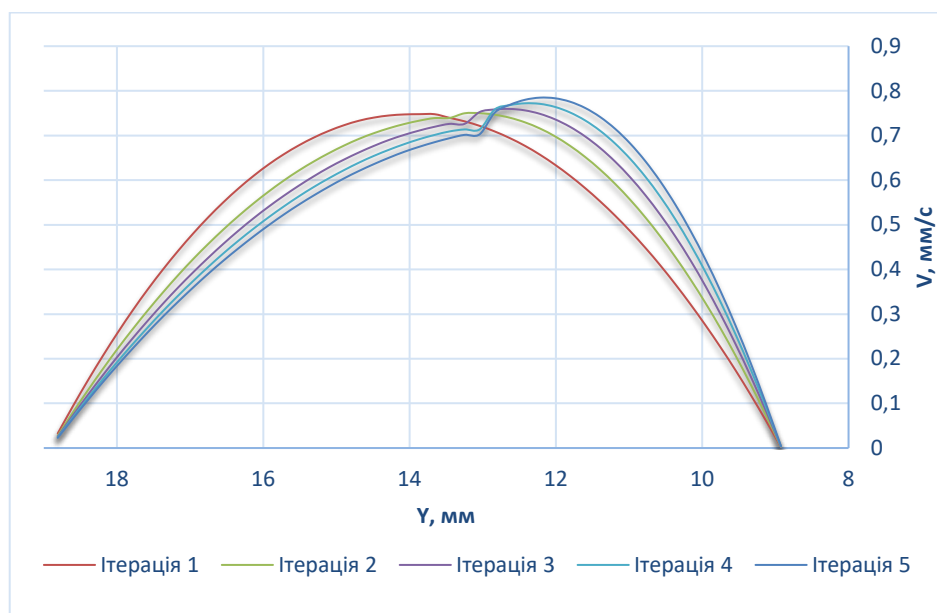


Рисунок 7 – Графік розподілу швидкостей п'яти кроків після з'єднання течій

Графік розподілу швидкостей візуально демонструє це зміщення: піки профілів швидкостей для пізніших кроків (кроки 2, 3, 4, 5) розташовані при нижчих значеннях координати Y порівняно з першим кроком, що відповідає зазначеному зміщенню потоку.

Висновки. Проведені розрахунки в системі Polyflow демонструють, що зміна в'язкості одного з матеріалів призводить до зміщення об'єданого потоку та впливає на розподіл швидкостей. Таким чином, проведене моделювання підтверджує, що реологічні властивості полімерів є критично важливим фактором, який визначає розподіл шарів та характеристики потоку під час співекструзії.

Перелік посилань

1. Проектування формувальних пристроїв обладнання для перероблення пластмас : навч. посіб. / О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, І. О. Мікульонок ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2-ге вид. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 159 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/64996>.
2. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 293 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35084>.
3. Ansys. (2025). Ansys Polyflow. Ansys. URL: <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-polyflow>.
4. Ansys. (2025). Newtonian theory of viscosity (isothermal): Cross law. Ansys Help. URL – https://ansyshelp.ansys.com/public/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v242/en/poly_pf/pf_ug_sec_newton_theory_viscosity_isothermal.html%23pf_ug_sec_newton_theory_cross_law.
5. Ansys. (2025). Theory and equations. Ansys Help. URL: https://ansyshelp.ansys.com/public/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v242/en/poly_pf/pf_ug_sec_visco_differential_theory.html%23x1-34000012.2.1.

Тепловий режим роботи валка формування розплаву біополімеру

Тютюрев Т.В., студ., Федоряченко Ю.А., студ., Шилович І.Л. к.т.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Тепловим розрахунком обґрунтовано конструкцію валка каландру для формування листа з полілактидного полімеру.

Ключові слова: каландр, полімери, розрахунки, валки, екструдер, біополімери, тепловий режим валка, формування розплаву.

Вступ. Все більше пакувальних матеріалів останнім часом виготовляють на основі рослинної біомаси, що замінює полімери отримані з нафти. Провідне місце серед таких матеріалів займає полімер на основі полілактидної кислоти (PLA). У 2021 році PLA мав найвищий обсяг споживання порівняно з усіма іншими біопластиками у світі [1]. Полімерні ланцюги PLA утворюються шляхом конденсації мономерів лактидної кислоти. В свою чергу мономер отримують із ферментованого рослинного крохмалю, такого як кукурудза, маніок, цукрова тростина або жом цукрових буряків. Фізико-хімічною особливістю полімеру PLA є те, що він після формування і охолодження він набуває кристалічну будову. Найвідомішою властивістю PLA є його здатність до природної деградації і руйнуванню.

Технологія виготовлення полімерних плівок або листових пакувальних матеріалів на основі полілактидного полімеру включає каландрування або неформованого розплаву полімеру, або розплаву, що подається між валками каландру за допомогою екструдера. Особливістю технологічного процесу є досить високий температурний рівень обробки розплаву. В таблиці 1 наведені експериментальні дані щодо температурних режимів формування розплаву полілактидного полімеру, отримані авторами патенту [2].

Таблиця 1 – Експериментальні температури каландрування і кристалізації PLA [2]

Процес	Температура, °C				
	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4	Зразок 5
Формування із розплаву	167	167	165	165	167
Кристалізація	124	125	131	125	135

Як видно з таблиці, температури поверхні формування перевищують 160 °C, що при умові використання в якості теплоносія перегрітої води [3] створюють підвищені вимоги до ущільнень місць вводу обертальних елементів валка, а також додаткового обладнання, що забезпечує генерацію гарячої води. Необхідно зауважити, що підтримання температур води в ненасиченому стані вимагає створення робочого тиску подачі води не нижче 14 бар.

Авторами патенту [4] запропонована конструкція валка, що включає трубчасті електронагрівачі, встановлені вздовж центральної осі валка під зовнішнім кожухом. Центральний вал і зовнішня робоча поверхня валка механічно незалежні при обертанні, що спрощує комунікацію електроживлення, оскільки вузол з нагрівачами залишається непорушним, а циліндр валка обертається навколо повздовжньої осі. Креслення валка приведено на рис.1. Перевагами даної конструкції за твердженнями авторів патенту є: забезпечення ефективного нагрівання робочої поверхні валка за рахунок інфрачервоного випромінювання; рівномірність нагріву робочої поверхні валка; відмова від використання рідини в якості теплоносія. В цілому можна сказати, що запропонована конструкція має певні техніко-економічні переваги.

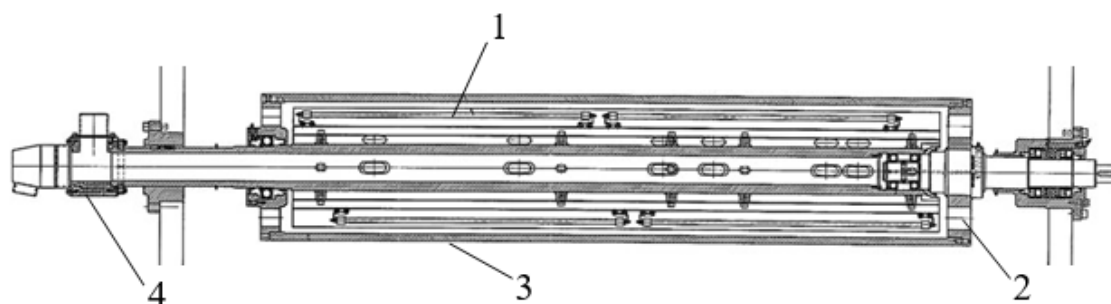
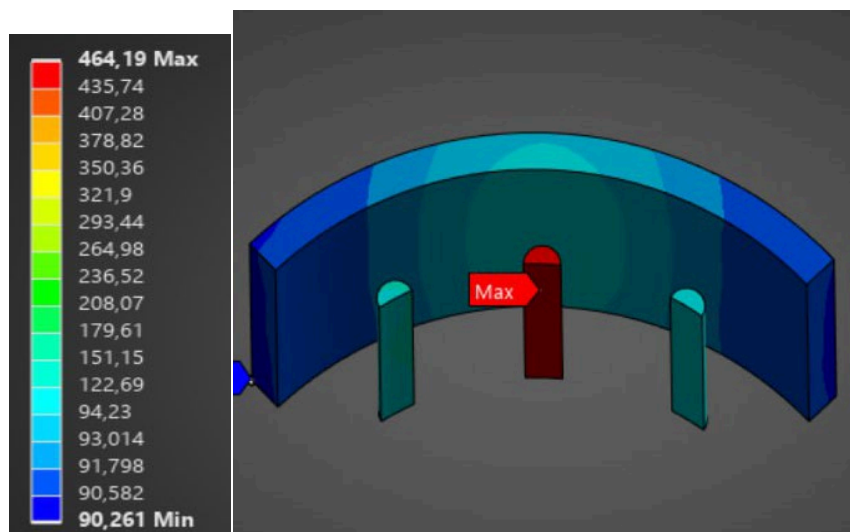
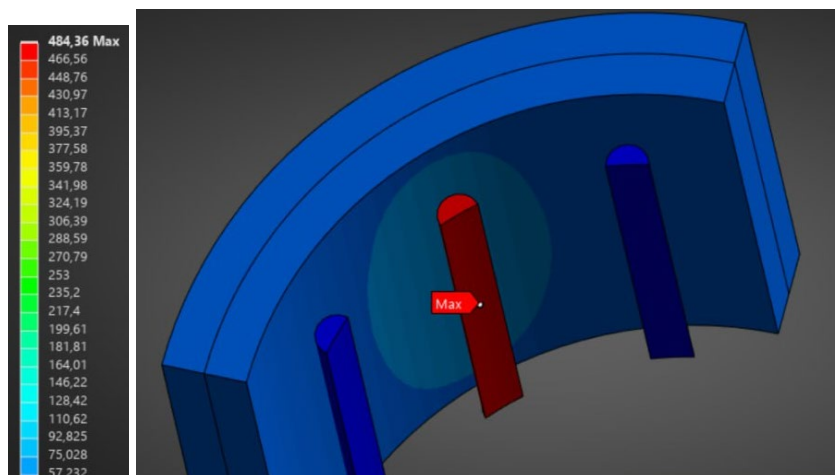


Рисунок 1 – Валок з інфрачервоним нагрівом робочої поверхні: 1 – електронагрівач; 2 – торцевий обертовий фланець; 3 – робоча поверхня; 4 – центральний непорушний вал

З метою обґрунтування можливої модернізації валка були виконані теплові розрахунки випромінювання від електронагрівачів до зовнішньої оболонки валка. Розрахунки виконувалися в застосунку ANSYS в розділі Steady State Thermal для режиму теплового випромінювання Surface to Surface. Коефіцієнти емісії випромінювання обиралися відповідно до рекомендацій роботи [5]. Для порівняння ефективності нагрівання в конструкцію валка була додана масивна мідна гільза, що щільно з'єднана з робочою поверхнею валка. Розрахунки температурних полів зовнішньої оболонки валка без мідної гільзи та з нею показані на рис 2.



a



б

Рисунок 2 – Розрахунки температурних полів зовнішньої оболонки валка без мідної гільзи та з нею: *a* – температурне поле оболонки валка; *б* – температурне поле оболонки валка з мідною гільзою

Технічна ідея використання мідної масивної вставки полягає в тому, що коефіцієнт теплопровідності міді ($\lambda_{\text{ст}} = 401 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) майже у 8 разів більше теплопровідності сталі ($\lambda_{\text{ст}} = 50.2 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) [6].

Вплив відмінності коефіцієнтів теплопровідності на вирівнювання температурного поля твердого тіла полягає в тому, що при рівності величини густини теплового потоку градієнти температур будуть обернено пропорційні коефіцієнтам теплопровідності. Гіпотеза Фур'є для теплопровідності в твердому тілі представлена у вигляді рівняння для густини теплового потоку q [5]

$$q = -\lambda \text{grad}(T) \quad (1)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності твердого тіла, $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$; $\text{grad}(T) = (dT/dn)$ – градієнт температури, К/м ; T – температура, К ; n – нормаль до ізотермічної поверхні, м .

У випадку одномірного переносу теплоти ($\frac{dT}{dx} \gg \frac{dT}{dy}$; $\frac{dT}{dx} \gg \frac{dT}{dz}$) напишемо рівність теплових потоків для різних матеріалів:

$$\lambda_1 \left(\frac{dT}{dx} \right)_1 = \lambda_2 \left(\frac{dT}{dx} \right)_2 \quad (2)$$

або

$$\frac{\left(\frac{dT}{dx} \right)_1}{\left(\frac{dT}{dx} \right)_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (3)$$

З рівняння (2) зрозуміло, що перепад температур на одиницю довжини в напрямку нормалі буде меншим у випадку, коли коефіцієнт теплопровідності буде для даного матеріалу більше.

Отримані результати показали, що наявність мідної вставки впливає на рівномірність температурного поля. При відсутності мідної вставки перепад температури по поверхні становить 4°C . При наявності мідної вставки перепад не перевищує 2°C .

Таким чином, застосування мідної масивної вставки сприяє вирівнюванню температури робочої поверхні валка.

Висновки. Проведені теплові розрахунки обґрунтували конструкцію валка каландру, призначеного для формування листа з полілактидного полімеру, та дозволили оцінити переваги використання електричного нагріву замість рідинного теплоносія.

Перелік посилань

1. Ceresana. "Bioplastics - Study: Market, Analysis, Trends - Ceresana". URL: <https://ceresana.com/en/produkt/market-study-bioplastics>.
2. US010253145B2, Date of Patent: April 9 2019/ Applicant: NITTO DENKO CORPORATION URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/042073591/publication/US10253145B2?q=US10253145B2>.
3. UA120214U. Опубліковано 25.10.2017. URL: <https://patents.google.com/patent/UA120214U/en?q=UA120214U>
4. EP 3 208 064 B1. Patent 10.04.2019. URL: <https://data.epo.org/publication-server/document/xml/3208064/B1/2019-04-10>
5. M. Thirumaleshwar. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. // Pearson Education. – 2014, 760 p.

Розробка головки екструдера для виробництва двошарової пакувальної плівки

Гончаров Д. В., студ, Гроховецький В.С., студ, Шевцов А.О., студ., Шилович І.Л., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Обґрунтовано і виконано проектування конструкції ко-екструзійної головки для виготовлення двошарової полімерної плівки.

Ключові слова: ко-екструзійна головка, пакувальні матеріали, полімерний розплав, технічні рішення, довжина головок, багатошарові захисні бар'єри.

Вступ. Сучасні вимоги до пакувальних матеріалів передбачають виготовлення багатошарових захисних бар'єрів. З цією метою впроваджуються в практику так звані, ко-екструзійні головки. Відомі технічні рішення з конструкції ко-екструзійних головок, що викладені в публікаціях [1-3].

Проте, як зазначають автори винаходу [2], на прикладі винаходу більшість головок, що знаходяться в експлуатації мають відносно велику довжину, що призводить до збільшення довжини проточних каналів і, відповідно, шляхів потоку полімерного розплаву. Ці шляхи, у свою чергу, призводять до високих реологічних напружень на границях розплавів, що може призвести до нестабільної поведінки потоку. Зокрема, довгі шляхи потоку є проблемою для полімерів, які не витримують нагрівання протягом тривалого періоду часу. Такі полімерні розплави зазнають термічне розкладання та стають крихкими при нагріванні протягом тривалих періодів.

Автори винаходу [2] запропонували зменшити довжину ко-екструзійної головки шляхом встановлення ко-екструзійних гільз у вигляді концентричних елементів. Згідно опису винаходу з метою зменшення осьової довжини ко-екструдерної головки, кільцеві щілини, що подають розплав полімеру, також входять у внутрішню стінку центрального кільцевого каналу. Зазначені кільцеві щілини є отворами меншого діаметра усічених каналів, утвореними між внутрішньою та зовнішньою оболонками багатошарових конічних внутрішніх вставних елементів. Винахід вирішує згадану технічну проблему тим, що кільцеві щілини, що подають розплави полімерів, також впадають у внутрішню стінку центрального кільцевого каналу. Конструктивна побудова головки полягає в наборі конічних вставних елементів, що збираються таким чином, щоб досягти бажану кількість шарів плівки. За оцінкою авторів [2] при однаковій кількості конічних каналів подачі, ко-екструзійна головка матиме вдвічі меншу конструктивну довжину. Суттєво зменшена осьова довжина екструдерної головки винаходу забезпечує більш досконалу схему потоків розплавів та меншого теплового навантаження на розплав, оскільки розплав, відповідно, знаходиться значно менший час в ко-екструзійній головці.

На рис.1 наведено розроблене у відповідності до рекомендацій авторів [2] креслення ко-екструзійної головки для виготовлення двошарової рукавної плівки. Особливістю показаної на рис.1 конструкції є наявність модульних конічних вставок, що обладнані концентричними профільними канавками по нахиленій поверхні конусоподібних вставок.

Головним завданням проектування ко-екструзійної головки з огляду на її функціональне призначення є оцінка температурних навантажень, що забезпечують реологічний плин полімеру і з'єднання шарів плівки. З цією метою була розроблена 3D модель $\frac{1}{2}$ перетину головки.

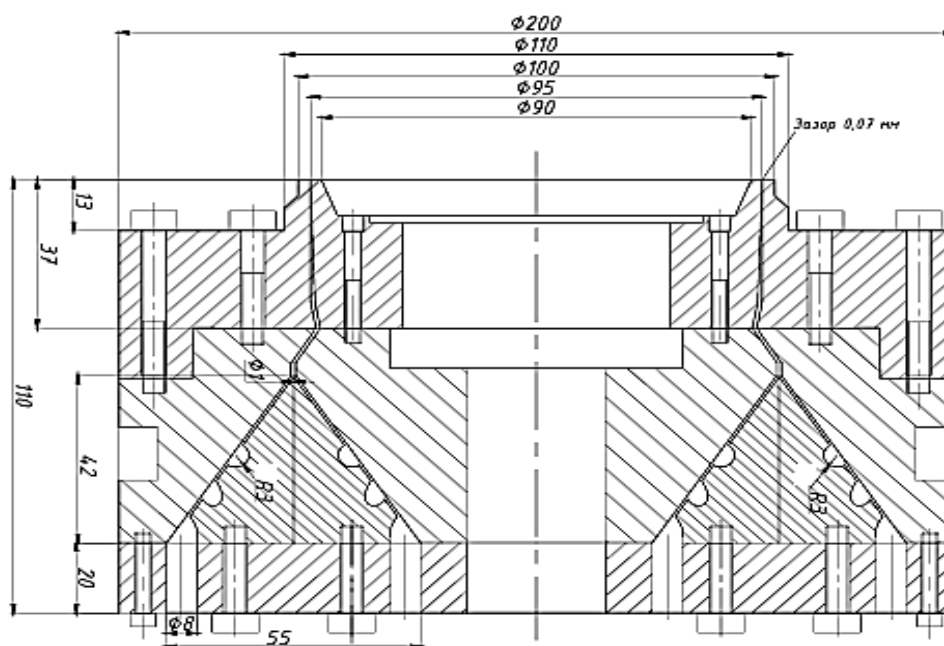


Рисунок 1 – Креслення ко-екструзійної головки для виготовлення двошарової рукавної плівки

Розрахунок температурного розподілу в головці показаний на рис.2. Розрахунок виконувався в застосунку ANSYS в режимі задачі Steady State Thermal при граничних умовах 3-го роду на зовнішніх границях головки. Конвективний теплообмін в повітряному каналі також заданий у вигляді граничних умов 3-го роду для технологічних швидкостей потоку повітря. Результати розрахунків приведені на рис.2.

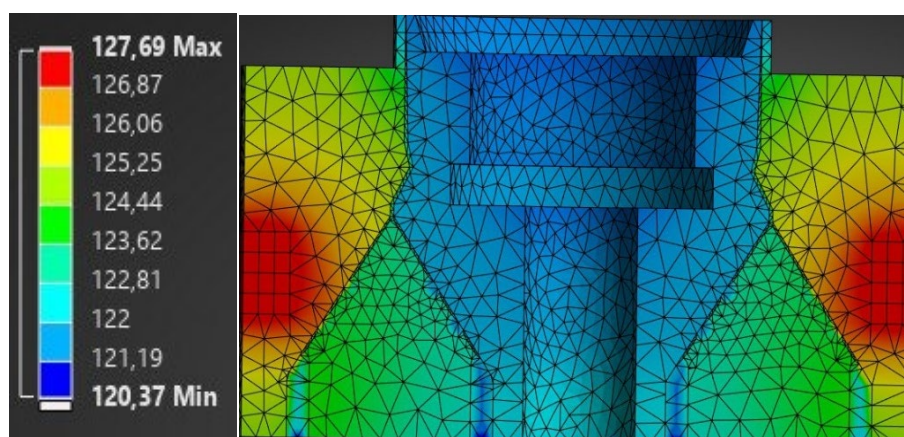


Рисунок 2 – Температурне поле ко-екструзійної головки

Висновки. Шляхом аналізу джерел з мережі Internet обрано конструкцію ко-екструзійної головки виготовлення двошарової полімерної плівки. Розроблено креслення ко-екструзійної головки для двошарової плівки. Отримані результати теплових розрахунків, що підтверджують дотримання температурного регламенту виготовлення двошарової полімерної плівки.

Перелік посилань

1. Die Head Extruder Guide/EXTRUDEX Kunststoffmaschinen GmbH. URL: www.extrudex.de.
2. Patent US 005716650A Extruder die head.
URL: <https://patents.google.com/patent/US20030026868A1/en>.
3. Patent CN 109693367A. Concentric sleeve type multi-layered co-extrusion film blowing machine head. URL: <https://patents.google.com/patent/CN109693367A/en?q=3.CN+109693367+>.

СЕКЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ І ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ



Лінія для виробництва транспортерної стрічки з модернізацією Г- подібного каландра

Ус К.В., студ., Гондляр О.В., д.т.н., проф., Белах М.В., студ.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

У даній публікації розглядається конструкція термопресувального валу та модернізованого Г-подібного каландра, описаних у патенті CN201420157Y, призначених для виробництва транспортерної стрічки та обробки нетканих матеріалів з метою покращення якості пресування та рівномірного розподілу температури.

Ключові слова: термопресувальний вал, Г-подібний каландр, транспортерна стрічка, неткані матеріали, теплоносій, охолоджувальна система.

Вступ. Термопресувальні вали та каландри є важливими елементами обладнання для виробництва транспортерної стрічки та обробки полімерних і нетканих матеріалів [1]. Основна мета використання такого обладнання — забезпечення рівномірного розподілу температури по всій поверхні вала для досягнення стабільного процесу пресування та зменшення дефектів матеріалу. В конструкції, що розглядається, застосовано нові технічні рішення для оптимізації процесу теплопередачі та охолодження підшипникових вузлів.

Представлені у патенті [2] термопресувальний вал та Г-подібний каландр складаються з основного циліндричного вала з радіальними отворами для теплоносія та каландра з оптимізованою формою для досягнення рівномірного пресування матеріалу. Г-подібний каландр включає в себе робочі циліндри, що розташовані під кутом, забезпечуючи рівномірне ущільнення матеріалу під час пресування, що особливо важливо для транспортерних стрічок великої ширини. Центральний канал використовується для подачі теплоносія, а ущільнювальні кільця забезпечують герметичність системи (Рис. 1).

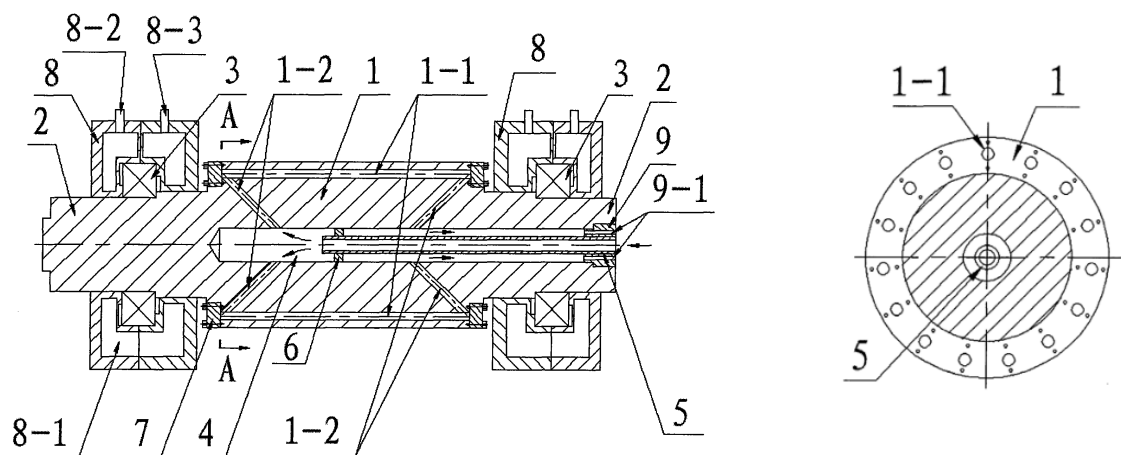


Рисунок 2 – Пристрій термопритискного ролика:

- 1 – ролик, 1-1 – наскрізний отвір, паралельний осі ролика, 1-2 – канал, 1-3 – внутрішня стінка ролика, 2 – головка вала, 3 – підшипник, 4 – наскрізний отвір, 5 – входна труба теплоносія, 6 – ущільнювальне кільце, 7 – фланець, 8 – охолоджувальний короб підшипника, 8-1 – порожнина, 8-2 – вхід охолоджувального середовища, 8-3 – вихід охолоджувального середовища, 9 – з'єднувальний фланець, 10 – основа

Каландр представляє собою чотирьохвалкову машину, валки якої змонтовані на підшипниках кочення і спираються на потужні сталеві станини. Станини встановлюються на дві чавунні плити, що кріпляться фундаментними болтами до фундаменту. Угорі станини стягаються двома сталевими траверсами. Валки — основні робочі органи каландра, виготовлені двошаровими з вибіленою поверхнею бочки, що має твердість 50...55 HRC. Така конструкція забезпечує високу жорсткість та точність роботи каландра при тривалому термопресуванні. Загальний вигляд Г-подібного каландра [3] показано на (Рис. 2).

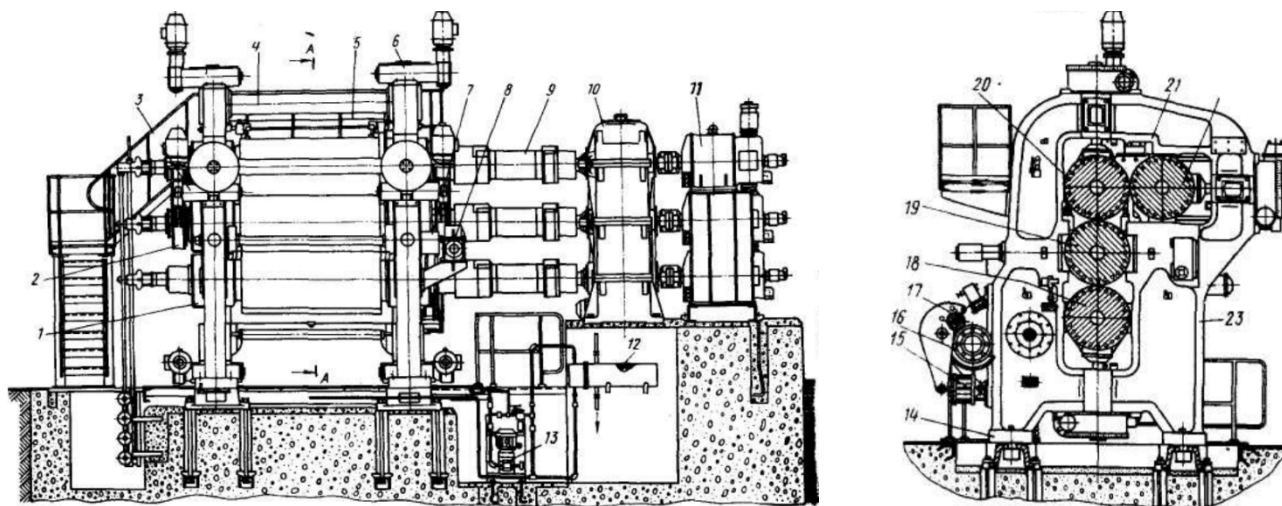


Рисунок 2 – Г-подібний каландр

1 – фундамент стану, 2 – рама стану, 3 – бічні стійки/щок, 4 – верхній робочий валок, 5 – прокатуваний метал, 6 – нижній робочий валок, 7 – підшипникові опори валків, 8 – механізми регулювання положення валків, 9 – карданні вали, 10 – редуктор, 11 – електродвигун головного приводу, 12 – автоматичний блок/механізм контролю, 13 – гідравлічна або мастильна станція, 14 – фундамент, 15 – підшипникова опора, 16 – шестерня приводу, 17 – вал-шестерня, 18 – проміжні валки, 19 – маслобак або мастильний вузол, 20 – корпус стану/редуктора, 21 – передавальні шестерні, 22 – привідний вал, 23 – вихід на головні валки/привід прокатки

Особливості конструкції:

- Внутрішня система каналів для теплоносія сприяє рівномірному розподілу температури.
- Охолоджувальна система підшипників мінімізує ризик перегріву вузлів.
- Радіальні отвори у валу дозволяють ефективніше регулювати тепловий режим.

Висновки. Застосування термопресувального валу та Г-подібного каландра згідно з патентом CN201420157Y дозволяє досягти підвищення якості обробки транспортерної стрічки та нетканих матеріалів завдяки рівномірному розподілу температури по поверхні вала, покращенню процесу теплопередачі та забезпеченню стабільного процесу пресування.

Перелік посилань

1. Мікульонюк І.О., Кулініч С.І., Кудренко О.О. Валки валкових машин для перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей: огляд конструкцій // *Хімічна промисловість України*. – 2009.
2. KE YU.Heat pressure roller device: пат. CN201420157Y. Заявл. 12.03.2009; опубл. 10.03.2010.
3. Основні конструкції валкових машин [Електронний ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/9068314/page:5>. – Дата звернення: 19.05.2025.

Підвищення ефективності роботи дискового вакуумного фільтра

Довбня О.В., студ., Гондляр О.В., д.т.н., проф., Карасьов В.С., студ.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано вдосконалення конструкції фільтрувального сектору дискового вакуумного фільтра шляхом використання спеченої металевої сітки у вигляді віялоподібної пластини. Така модернізація дозволяє підвищити стійкість до зношування та корозії, збільшити ефективність фільтрації, покращити показники зневоднення, а також продовжити термін служби обладнання. Рішення передбачає просту інтеграцію в існуючі системи без значних модифікацій.

Ключові слова: дисковий вакуумний фільтр, фільтруючий сектор, модернізація, спечена сітка, фільтрація.

Вступ. Однією з ключових галузей сьогодення є механіка. В Даній доповіді розглядається дисковий вакуум фільтр що є поширеним у більшості промислових сферах. Дискові вакуумні фільтри використовуються для зневоднення пульп . модель що розглядається найбільш використовується у гірничо-металургійній промисловості. Основна функція обладнання — відділення твердої фази від рідкої з максимальною ефективністю. Фільтрувальні сектори є ключовими елементами у забезпеченні фільтраційного процесу, і саме їхня модернізація може надати суттєве покращення показників фільтра [1-2].

Сектори вставляють в спеціальні гнізда пустотілого вала і кріплять до нього за допомогою шпильок з накладками. До торців вала притискуються за допомогою пружин розподільні головки. Вихідна пульпа надходить між дисками у ванну. Фільтруюча поверхня створюється боковими стінками дисків. У зоні фільтрування сектори дисків через розподільну головку підключені до вакуум-насоса. Вміст твердого в суспензіях флотаційного концентрату складає у середньому 200 – 450 кг/м³ , незбагаченого шламу – 250 – 450 кг/м³ . Фільтруюча поверхня створюється боковими стінками дисків. Під дією 61 вакууму вода проходить крізь отвори фільтрувальної тканини і осад, потрапляє через відповідні канали вала в розподільну головку і далі у ресивер. При виході з пульпи сектори входять у зону просушування, де вода з осаду витісняється повітрям. В «мертвих» зонах здійснюється зміна вакууму на стиснене повітря або навпаки. У зоні віддувки осад відділяється від фільтрувальної тканини стисненням повітрям і шкребками, а також в цій зоні тканина продувається повітрям і готується до наступного циклу фільтрування [3].

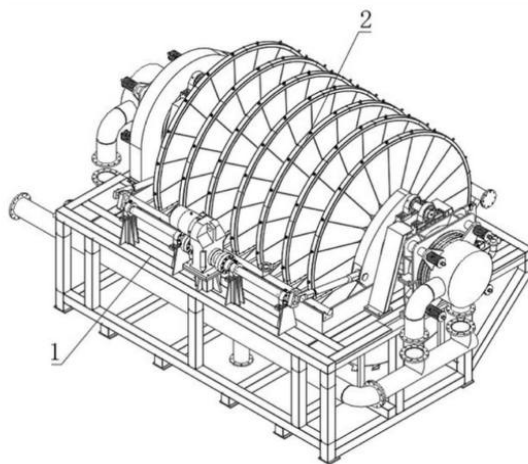


Рисунок 1 – Вигляд дискового вакуумного фільтра:

1 – ділянка збору фільтрату; 2 – фільтруючий диск

У патенті CN201470211U запропоновано конструкцію фільтрувального сектора у вигляді віялоподібної пластини, виготовленої зі спеченої багат шарової металеві дротяної сітки (Рис.2). Така структура має високу площу фільтрації, низький гідравлічний опір і хорошу термостійкість. Її застосування дозволяє зменшити ймовірність забивання фільтрувальної поверхні, покращити відведення фільтрату та забезпечити стабільне утворення осаду [4].

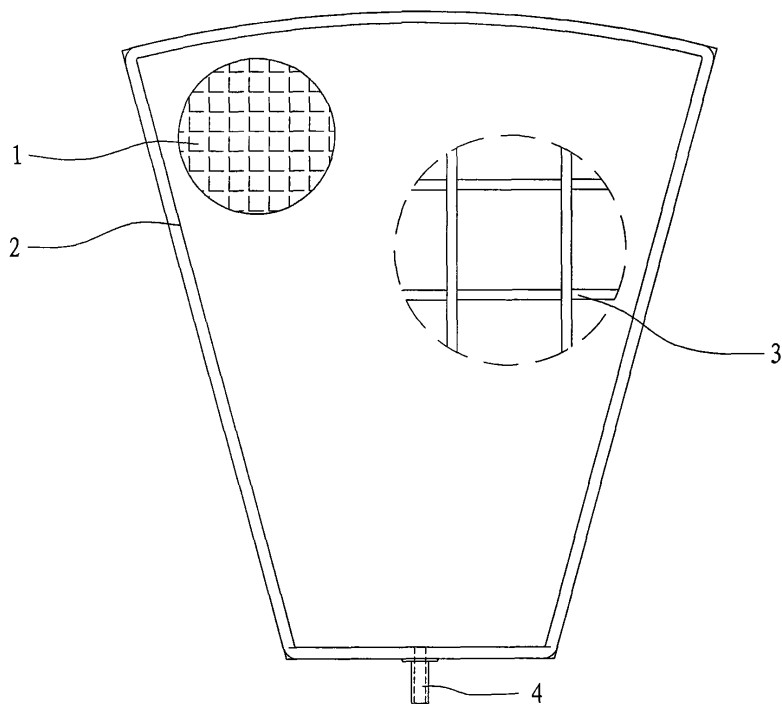


Рисунок 2 – Ескіз конструкції модернізованого сектора

На Рис. 2 зображено дві спечені пластини 1 з дротяної сітки з нержавіючої сталі затиснуті з обох боків внутрішньої рами 3 з нержавіючої сталі та зварені, утворюючи повністю порожнисту фільтрувальну пластину секторної форми з нержавіючої сталі, яка потім оточена кільцем з окантовки 2 з нержавіючої сталі. З'єднання 4 встановлено в положенні, близькому до центру повністю порожнистої фільтруючої пластини секторної форми з нержавіючої сталі, для отримання повністю порожнистого фільтрувального диска секторної форми з нержавіючої сталі.

Висновки. Модернізація фільтрувального сектора дозволяє суттєво покращити техніко-економічні показники роботи дискового вакуумного фільтра. Використання спечених металевих сіток забезпечує вищу ефективність зневоднення, довший термін експлуатації та зниження витрат на обслуговування. Рішення є практичним і придатним до реалізації в умовах діючих виробничих ліній.

Перелік посилань

1. Витвицький В. М., Мікульонюк І. О. Дисковий вакуум фільтр. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 136 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41177>.
2. The Extractive Metallurgy of Zinc // AusIMM. URL: <https://www.ausimm.com/globalassets/rio---pubs-not-on-onemine/spectrum/extractive-metallurgy-of-zinc.pdf>.
3. JXSC Disk Vacuum Filter Application. URL: <https://www.jxscmachine.com/new/disk-vacuum-filter>.
4. Патент CN201470211U. Vacuum filter disc of sintered wire mesh. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/042406450/publication/CN201470211U>.

Визначення достовірності результатів виконання дипломних проектів

Васильченко Г.М., к.т.н., доц., Підмурняк Д.О., студ., Буканов М.Е., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоноване дослідження було зосереджено на визначенні критичних характеристик установки, які необхідно зберегти: енергоспоживання, масогабаритні показники, термін служби та функціональна універсальність. Це дало змогу уникнути ситуації, коли зміни в одному вузлі негативно вплинуть на загальну роботу системи.

Ключові слова: модернізація, екструдер, продуктивність, енергоефективність.

У процесі виконання дипломного проекту на кафедрі хімічної технології та спеціальних матеріалів було обрано тему, присвячену модернізації одного з вузлів існуючої технологічної установки – екструдера [1]. Мета роботи полягала у вдосконаленні конструкції з метою підвищення її ефективності без порушення ключових експлуатаційних параметрів. Для досягнення цілі було проведено глибокий патентний пошук, аналіз існуючих аналогів та вибір оптимального напрямку модернізації.

На початковому етапі дослідження увагу було зосереджено на визначенні критичних характеристик установки, які необхідно зберегти: енергоспоживання, масогабаритні показники, термін служби та функціональна універсальність. Це дало змогу уникнути ситуації, коли зміни в одному вузлі негативно вплинуть на загальну роботу системи. Наприклад, при розробці нового профілю шнека екструдера особливу увагу приділено балансу між продуктивністю та енергоефективністю. Розрахунки показали, що запропоновані зміни дозволяють зменшити питоме енергоспоживання на 8–10% без збільшення маси конструкції або скорочення терміну експлуатації.

У процесі роботи було виконано порівняльний аналіз кількох варіантів модернізації, у тому числі з використанням нових матеріалів і геометричних рішень. Важливим етапом став економічний обґрунтування: розрахунок окупності та вартість реалізації кожної з пропозицій. Це дозволило відібрати рішення, які не лише технічно реалізовані, а й економічно доцільні для промислового застосування.

Особливу увагу приділено узгодженню нововведень з існуючими стандартами та умовами експлуатації. Наприклад, запропонована конструкція шнека забезпечує сумісність з різноманітними типами полімерних матеріалів, що розширює функціональні можливості установки без змін у загальній схемі. Також було створено прототип для лабораторного тестування, який підтвердив розрахункові показники стійкості та надійності [2].

У висновку слід зазначити, що робота демонструє системний підхід до модернізації технологічного обладнання. Завдяки комплексному аналізу та увазі до ключових показників вдалося запропонувати рішення, яке поєднує інноваційність, економічну ефективність та технічну реалізацію. Цей підхід може бути рекомендований для впровадження в подібних проектах, де важливо зберігати гармонію між прогресом і стабільністю.

Висновки. Робота демонструє системний підхід до модернізації технологічного обладнання.

Перелік посилань

1. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів. Навч. посіб. / І.О. Микульонюк та ін. – Київ: НТУУ «КПІ» 2015 – 200с.
2. Надійність технологічних систем. Посібник-практикум / Н.І. Болтянська. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. 162 с.

Обґрунтування використання модернізації вузла

Васильченко Г.М., к.т.н., доц., Репецький І. В., студ., Ходжаян С.К., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоноване дослідження було зосереджено на визначенні критичних характеристик установки, які необхідно зберегти: енергоспоживання, масогабаритні показники, термін служби та функціональна універсальність. Це дало змогу уникнути ситуації, коли зміни в одному вузлі негативно вплинуть на загальну роботу системи.

Ключові слова: барабанний млин, модернізація, надійність.

Вступ. Барабанний млин є широко використовуваним типом обладнання [1], тому контроль надійності для такого обладнання є важливою складовою проектування та модернізації.

Контроль надійності технологічних об'єктів є важливою складовою проектування та модернізації сучасного обладнання. Під надійністю зазвичай розуміють працездатність – здатність об'єкта виконувати задані функції протягом визначеного часу, зберігаючи параметри в межах, установлених нормативно-технічною документацією. Цей критерій набуває особливої ваги у випадках, коли йдеться про модернізацію окремих вузлів промислових установок, зокрема таких, як барабанні млини.

Барабанний млин є широко використовуваним типом обладнання [1], який застосовується для подрібнення матеріалів у різних галузях – від цементної та керамічної до харчової промисловості. Діаметр млина може коливатися в значних межах – від одного до п'яти метрів, що зумовлює різні підходи до оцінки його технічного стану. За умов високих механічних навантажень та абразивної дії подрібнюваного матеріалу питання зносу окремих вузлів стає центральним при ухваленні рішень щодо їх удосконалення.

У практиці аналізу технічного стану механізмів прийнято виділяти два типи зносу: природний, який накопичується поступово внаслідок дії сил тертя, температури та інших експлуатаційних факторів за умов дотримання регламентів обслуговування; та аварійний – знос, що виникає раптово внаслідок дефектів виготовлення або порушень умов експлуатації. Розмежування цих двох типів зносу дозволяє точніше оцінити причини погіршення роботи обладнання та запропонувати обґрунтовані шляхи удосконалення.

У сучасних підходах до діагностики стану обладнання дедалі частіше застосовуються імовірнісні методи оцінки зносу, а отже і надійності [2]. Методи цього класу передбачають використання математичних моделей, які дозволяють прогнозувати ймовірність безвідмовної роботи об'єкта в заданому часовому інтервалі, визначати середній ресурс, інтенсивність відмов та інші ключові показники. Такий підхід дає змогу не лише фіксувати наявні проблеми, а й передбачати їх появу в майбутньому, що особливо важливо при оцінці доцільності модернізації.

Загальний принцип, якого слід дотримуватися під час модернізації будь-якого вузла установки, полягає в тому, що жодне нововведення не повинно погіршувати критично важливі експлуатаційні показники – енергоспоживання, масу, термін служби, універсальність застосування. Лише за такої умови модернізація буде не лише технічно ефективною, а й обґрунтованою з точки зору виробничої доцільності.

Висновки. Модернізація буде технічно ефективною якщо дотримуватись узгодження нововведень з існуючими стандартами та умовами експлуатації.

Перелік посилань

1. Мала гірнича енциклопедія: у 3т. / За ред. В. С. Білецького – Д. Донбас, 2007 – т.2. Л – Р – 670 с. – ISBN 57740 – 0828 – 2.
2. Надійність технологічних систем. Посібник-практикум / Н.І. Болтянська. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. 162 с.

Покращення процесу переробки полімерної сировини методом екструзії шляхом вдосконалення геометрії черв'яка

Лобанов Г.Ю., студ., Ходжаян С.К., студ., Мальчевський О.Т., студ., Гур'єва Л.Н., ас.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

В даній публікації розглядається кілька варіантів вдосконалення геометрії черв'яка екструзійної машини з метою покращення якості переробки та перемішування полімерної сировини.

Ключові слова: екструзійна машина, черв'як, полімери, модернізація, переробка, перемішування.

Вступ. Екструзійні машини мають досить помітні переваги в галузі переробки полімерних матеріалів та виготовленні виробів на їх основі, а саме, здатність виготовлення виробів досить високої якості з хорошою продуктивністю при невеликих енерговитратах, а також широким діапазоном отримуваних виробів різної форми та габаритів [1,2]. Недоліком стандартних конструкцій для виготовлення виробів шляхом екструзії є одноманітність геометрії головного робочого органу – черв'яка. Черв'як виконує ключову роль в переробці полімерної сировини у робочій зоні екструзійної машини, його спіральна навивка слугує транспортером сировини вздовж робочої зони машини, а також, гомогенізатором. Однак, однорідність геометрії дуже часто демонструє недостатній рівень перемішування полімерної сировини, що може призвести до утворення комків та застійних зон, що в свою чергу, негативно вплине на якість кінцевого продукту, продуктивність машини, а також на його технічний стан.

В даній публікації розглядається кілька варіантів вдосконалення геометрії черв'яка екструзійної машини з метою усунення вище зазначених недоліків.

Представлений варіант модернізації [3], яка стосується вдосконалення геометрії черв'яка в зоні дозування екструзійної машини і характеризується наявністю додаткової гвинтової навивки черв'яка (Рис. 1). Додаткова гвинтова навивка відрізняється від основної тим, що вона має більший зазор ($\delta_2 > \delta_1$) і більшу ширину ($\theta_2 > \theta_1$).

Зона дозування одночерв'ячної екструзійної машини (Рис. 1), що містить корпус 1, в середині якого знаходиться черв'як 2, який має основну 3 та додаткову 4 гвинтові навивки, причому додаткова гвинтова навивка 4 має більший зазор між корпусом 1, ніж основна навивка 3, та більшу ширину витка. Додаткова гвинтова навивка 4 розділяє основний гвинтовий канал на вузький 5 та широкий 6, ширина яких відноситься як 1/2 відповідно.

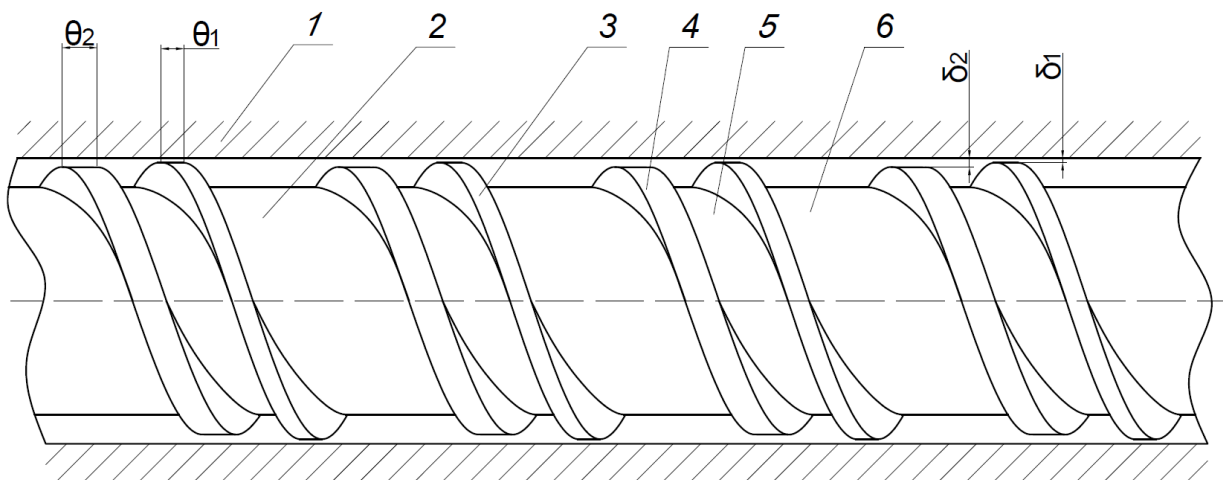


Рисунок 1 – Зона дозування екструзійної машини з додатковою гвинтовою навивкою:
1 – корпус; 2 – черв'як; 3 – основна гвинтова навивка; 4 – додаткова гвинтова навивка;
5 – вузький канал; 6 – широкий канал

Інший варіант модернізації [4] також відноситься до зони дозування екструзійної машини і стосується безпосередньо геометрії черв'яка. Дана модернізація характеризується тим, що черв'як, який має дві навивки, відрізняється тим, що між навивками в зоні дозування розташовані відбійні елементи (Рис. 2).

Зона дозування екструзійної машини (Рис. 2) складається з корпусу 1, в середині якого знаходиться черв'як 2, який має циліндричну частину, дві гвинтові навивки 3, між якими періодично розташовані відбійні елементи 4, висота яких становить щонайменше чверть від висоти гвинтової навивки 3 зони дозування черв'ячної машини

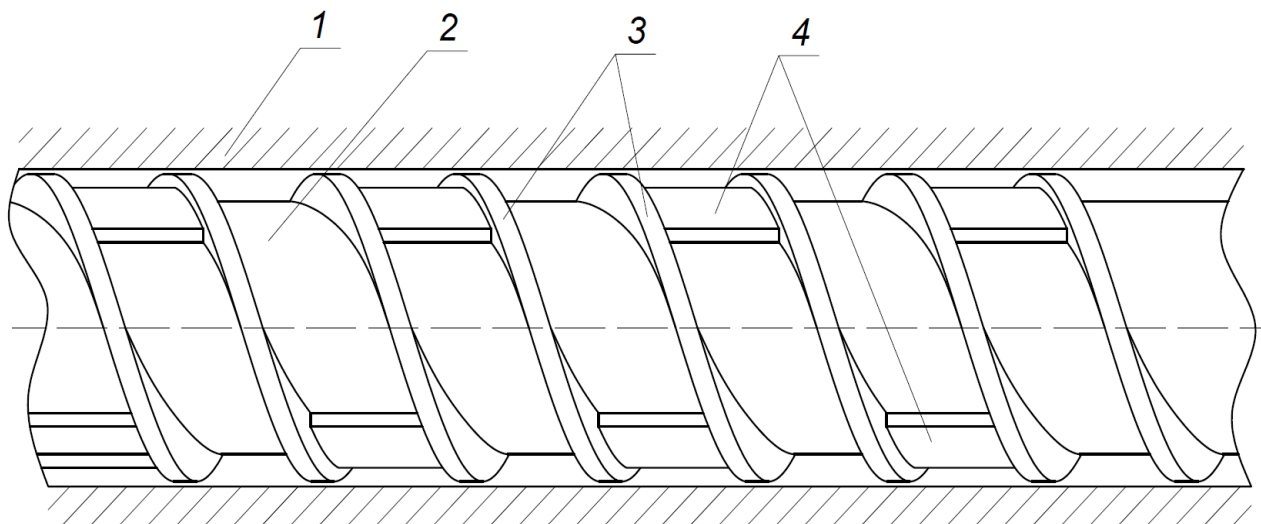


Рисунок 2 – Зона дозування екструзійної машини з відбійними елементами:
1 – корпус; 2 – черв'як; 3 – гвинтова навивка; 4 – відбійні елементи

Висновки. У випадку застосування зазначених варіантів модернізацій на практиці, які несуть за собою вдосконалення геометрії черв'яка в зоні дозування екструзійної машини, можна досягти покращення якості переробки, плавлення, пластикації та перемішування полімерної сировини, що призведе до більшої однорідності вихідної суміші, а також покращить транспортувальну спроможність.

Перелік посилань

1. Мікульонюк І. О. Інноваційні змішувачі хімічної технології. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 132 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49568>.
2. Мікульонюк І.О., Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О. Інноваційне обладнання для приготування та перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей. Київ : НУХТ, 2022. 139 с. URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/38700>.
3. Single-screw extruder : pat. EP1194278A1 Germany / G. Eberhard; заявл. 26.06.2000; опубл. 10.04.2002.
4. Twin screw extruder : pat. EP1074376A1 Germany / W. Johannes; заявл. 02.08.1999; опубл. 07.02.2001.

Стрічковий елемент насадки масообмінного апарата

Мікульонук І.О., проф., д.т.н., с.н.с., Гур'єва Л.Н., ас.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано конструкцію елемента нерегулярної насадки тепломасообмінного апарата у вигляді гнучкої стрічки з надрізами по її довжині й відігнутими в місцях надрізів від площини стрічки її фрагментами, при цьому стрічку виконано з зацепом щонайменше на одному з її кінців для можливості його взаємодії з крайкою щонайменше одного з надрізів. Конструкція елемента забезпечує можливість змінювання його геометрії та з'єднання елементів між собою з утворенням певних об'ємних структур, що істотно розширює експлуатаційні можливості елемента, забезпечуючи його ефективне застосування для оброблення різноманітних фаз у тепломасообмінних апаратах різного типорозміру.

Ключові слова: хімічна технологія, тепломасообмінний апарат, насадка, замкнена стрічка, стрічка Мебіуса.

Вступ. Розроблене технічне рішення належить до обладнання хімічних, нафтопереробних, харчових і споріднених виробництв, зокрема до нерегулярних насадок тепломасообмінних апаратів і може бути використане в ректифікаційних, абсорбційних та екстракційних колонах [1–5].

Найближчим до запропонованого технічного рішення є елемент нерегулярної насадки тепломасообмінного апарата, виконаний у вигляді гнучкої стрічки з надрізами по її довжині й відігнутими в місцях надрізів від площини стрічки її фрагментами, при цьому стрічку виконано з двома поздовжніми прорізами з утворенням трьох смужок, по черзі відігнутих в протилежних напрямках з утворенням кільця (пат. № US6182950B1). Цей елемент характеризується високою технологічністю, адже може бути виготовлений штампуванням з листової заготовки без застосування складальних операцій [6, 7]. Також він має достатньо високу питому поверхню, проте він характеризується низькою жорсткістю, що може призвести до його деформації та ущільнення елементів у шарі насадки, а отже до зниження вільного об'єму та підвищення гідравлічного опору тепломасообмінного апарата. Крім того, конструкція елемента не дає змоги змінювати його геометрію та з'єднувати елементи між собою з утворенням певних об'ємних структур для підвищення ефективності проходження процесу в тепломасообмінному апараті.

Виклад основного матеріалу. В основу запропонованого технічного рішення покладено задачу вдосконалити елемент насадки, у якому його нове конструктивне виконання дає змогу змінювати його геометрію та з'єднувати елементи між собою з утворенням певних об'ємних структур, що розширює експлуатаційні можливості елемента, забезпечуючи його ефективне застосування для оброблення різноманітних фаз у апаратах різного типорозміру.

Поставлену задачу вирішують тим, що в елементі нерегулярної насадки тепломасообмінного апарата, виконаному у вигляді гнучкої стрічки з надрізами по її довжині й відігнутими в місцях надрізів від площини стрічки її фрагментами, згідно з запропонованим технічним рішенням новим є те, що стрічку виконано з зацепом щонайменше на одному з її кінців для можливості його взаємодії з крайкою щонайменше одного з надрізів [8].

Суть запропонованого технічного рішення пояснюється рисунком, на якому наведено схему будови елемента насадки (рис. 1).

Елемент нерегулярної насадки виконано у вигляді гнучкої стрічки 1 з надрізами 2 по її довжині й відігнутими в місцях надрізів 2 від площини стрічки 1 її фрагментами 3, при цьому стрічку 1 виконано з зацепом 4 щонайменше на одному з її кінців для можливості його взаємодії з крайкою щонайменше одного з надрізів 2.

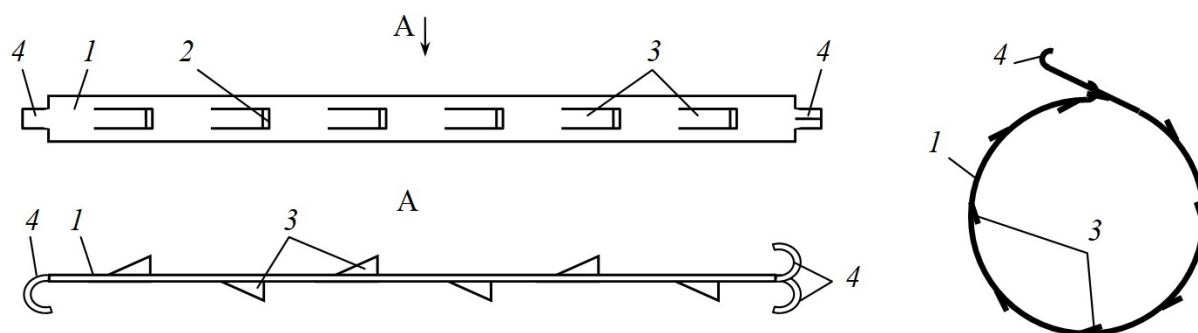


Рисунок 1 – Конструкція елемента насадки відповідно до пат. України 159028 U [8]
(пояснення в тексті)

Елемент насадки працює так.

Залежно від властивостей оброблюваних фаз, а також типорозміру тепломасообмінного апарата забезпечують потрібну геометрію елемента насадки. Для цього щонайменше один зачіп 4 вводять у взаємодію з крайкою щонайменше одного з надрізів 2, утворюючи зі стрічки 1 замкнене кільце. При цьому стрічку може бути скручено на кут, кратний 180° з утворенням стрічки Мебіуса [9], а декілька елементів можуть бути з'єднані з утворенням певних об'ємних структур. Після цього елементи насадки неупорядковано засипають у апарат і подають оброблювані фази, які, проходячи крізь шар насадки, інтенсивно взаємодіють одна з одною.

Висновки. Завдяки зазначеному конструктивному виконанню елемент насадки характеризується високими експлуатаційними та технологічними властивостями, які дають змогу використовувати його для оброблення різноманітних фаз у апаратах різного типорозміру.

Перелік посилань

1. Тютюнников А.Б., Товажнянский Л.Л., Готлинская А.П. Контактные элементы массообменных колонн. Киев : ИСИО, 1993. 440 с.
2. Мікульонюк І.О. Контактні та допоміжні пристрої тепломасообмінних колон. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 194 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50142>.
3. Mikulionok I.O. Classification of Nozzles of Mass Transfer Apparatuses // Russian Journal of Applied Chemistry. 2011. Vol. 83, № 9. P. 1631–1637. URL: <https://doi.org/10.1134/S107042721109031X>.
4. Пушнов А.С., Микулёнок И.О., Севрюков А.С., Беренгартен М.Г. Классификация конструкций насадок колонных аппаратов и методов интенсификации в них процессов тепломассообмена // Химическая технология. 2014. № 4. С. 244–250.
5. Мікульонюк І.О. Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси та обладнання хімічної технології. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 340 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38169>.
6. Мікульонюк І.О. Виготовлення обладнання хімічних виробництв. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 236 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50358>.
7. Mikulionok I.O. Classification of stamped packing elements of mass-exchange apparatuses (survey of patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 56, № 9–10. P. 861–869. URL: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00853-9>.
8. Елемент нерегулярної насадки тепломасообмінного апарата : пат. України 159028 U, МПК(2025.01) B01J 19/00 / І.О. Мікульонюк; заявник і володілець – КПІ ім. Ігоря Сікорського. № u 2024 04647 ; заявл. 26.09.2024 ; опубл. 16.04.2025, Бюл. № 16.
9. Mikulionok I.O. Use of Möbius Strip in Chemical Machine Design (Survey of Patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 56, № 11–12. P. 1037–1042. URL: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00880-6>.

Модернізація кабельної головки одночерв'ячного преса

Ковтонюк О.В. студ., Мікульонок І.О., проф., с.н.с., д.т.н.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Розглянуто базову конструкцію кабельної головки одночерв'ячного преса з ручним забезпеченням співвісності формувальних елементів – матриці й дорна. Нове конструктивне виконання головки передбачає автоматизоване забезпечення співвісності матриці й дорна, а отже й рівнотовщинність полімерного покриття на кабельному виробі.

Ключові слова: одночерв'ячний прес, кабельна головка, матриця, дорн, співвісність, регулювання, модернізація.

Вступ. Черв'ячні преси є найпоширенішим типом технологічного обладнання, що використовується під час виробництва та перероблення термопластичних полімерів і композитних матеріалів на їхній основі, а також гумових сумішей [1–5]. Перший черв'ячний екструдер було створено в Німеччині наприкінці XIX століття для ізоляції електричних кабелів [2, 4]. Відтоді сфера використання екструдерів суттєво розширилася, і нині вони ефективно застосовуються не лише для перероблення полімерів, а й у виробництві будівельних матеріалів, гуми, сільськогосподарської продукції та харчових продуктів.

Накладання полімерної або гумової ізоляції на осердя кабелю здійснюється за допомогою кабельної головки черв'ячного преса [6–9]. Призначення преса полягає в нагріванні, подальшому розплавленні полімерного матеріалу та його подальшій гомогенізації, а кабельна головка призначення для формування з одержаного розплаву термопластичного матеріалу електроізоляційного покриття на осерді одержуваного кабельного виробу [3, 5]. Саме головка визначає експлуатаційні показники полімерної ізоляції, адже вона має забезпечити не лише надійне прилягання полімеру до осердя, а й рівнотовщинність полімерного покриття. При цьому в традиційних кабельних головках зазначена рівнотовщинність забезпечується ручним регулюванням її формувальних елементів – матриці й дорна, що спричинює невисоку точність забезпечення співвісності матриці й дорна, а також потребу певних навичок в апаратника черв'ячного преса [10].

Виклад основного матеріалу. В основу модернізації покладено конструкцію одночерв'ячного преса з кутовою кабельною екструзійною головкою з ручним регулюванням співвісності дорна 1 і матриці 2 за допомогою натискних болтів 3 (рис. 1) [10]. У модернізованій головці запропоновано замість ручного регулювання взаємного положення дорна й матриці в їхньому поперечному перерізі запропоновано електромеханічне викручування та закручування радіально розташованих регулювальних болтів (рис. 2) [11].

Модернізована головка містить корпус 1, на якому розташовано гайку 2, яка фіксує матрицетримач 3, з яким під дією тиску розплаву полімеру щільно з'єднується матриця 4. Електродвигун 5 натискним болтом регулює взаємне положення дорна 6 і матриці 4.

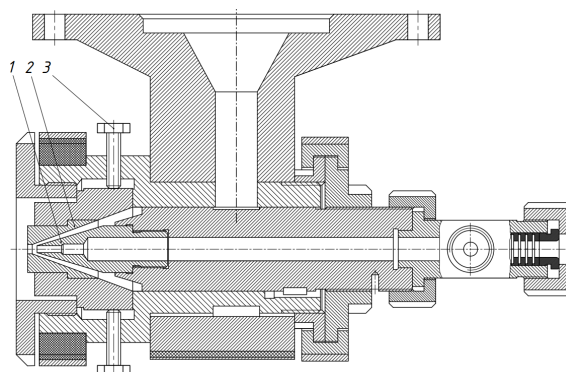


Рисунок 1 – Схема базової кабельної головки (пояснення в тексті)

Удосконалене кільце Рашига

Буканов М.Є., студ., Шпак О.Л., студ., Мікульонок І.О., проф., д.т.н., с.н.с.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано конструкцію насадки тепломасообмінного апарата, яка містить жорстку циліндричну оболонку у вигляді прямого кругового циліндра з відкритими основами, а також розташовану в ній знімну вставку з поздовжніми ребрами, при цьому поздовжні ребра знімної вставки виконано гвинтовими. Конструкція елемента збільшує питому поверхню насадки, сприяє турбулізації потоків оброблюваних фаз, а також знижує ймовірність «проскоку» оброблюваних фаз під час їх руху крізь насадку, що підвищує інтенсивність та ефективність тепломасообмінного процесу в апараті.

Ключові слова: хімічна технологія, тепломасообмінний апарат, елемент насадки, кільце Рашига, удосконалення.

Вступ. Розроблене технічне рішення належить до обладнання хімічних, нафтопереробних, харчових і споріднених виробництв, зокрема до нерегулярних насадок тепломасообмінних апаратів і може бути використане в ректифікаційних, абсорбційних та екстракційних колонах [1–4].

Найближчим до запропонованого технічного рішення є насадка тепломасообмінного апарата, що містить жорстку циліндричну оболонку у вигляді прямого кругового циліндра з відкритими основами, а також розташовану в ній знімну вставку з поздовжніми ребрами (пат. № UA99625U). Ця насадка завдяки наявності знімної вставки з поздовжніми ребрами має збільшену питому поверхню, проте загальна питома поверхня насадки та турбулізація потоків оброблюваних фаз залишаються недостатніми. Також виконання поздовжніх ребер прямолінійними не виключає «проскоку» оброблюваних фаз під час їх руху крізь насадку. Зазначені недоліки насадки знижують інтенсивність та ефективність тепломасообмінного процесу в апараті.

Виклад основного матеріалу. В основу запропонованого технічного рішення покладено задачу вдосконалити насадку, у якій нове конструктивне виконання її знімної вставки збільшує питому поверхню насадки, сприяє турбулізації потоків оброблюваних фаз, а також знижує ймовірність «проскоку» оброблюваних фаз під час їх руху крізь насадку, що підвищує інтенсивність та ефективність тепломасообмінного процесу в апараті [5, 6].

Поставлену задачу вирішують тим, що в насадці, яка містить жорстку циліндричну оболонку у вигляді прямого кругового циліндра з відкритими основами, а також розташовану в ній знімну вставку з поздовжніми ребрами, згідно з запропонованим технічним рішенням новим є те, що поздовжні ребра знімної вставки виконано гвинтовими, що можна забезпечити екструзією [7–9].

Суть запропонованого технічного рішення пояснюється рисунком, на якому наведено схему будови насадки (рис. 1) [10].

Насадка тепломасообмінного апарата містить жорстку циліндричну оболонку у вигляді прямого кругового циліндра 1 з відкритими основами 2 і 3, а також розташовану в ній знімну вставку 4 з поздовжніми гвинтовими ребрами 5, як бажано виконувати з кутом закрутки не менше $(360/z)^\circ$, де z – кількість ребер 5.

Елемент насадки працює так.

Складання кожного елемента насадки здійснюють введенням знімної вставки 4 усередину жорсткої циліндричної оболонки у вигляді прямого кругового циліндра 1. Потім елементи насадки у складеному вигляді впорядковано розміщують у тепломасообмінному апараті (у вертикальному положенні), після чого в нього, зазвичай протитечею, подають оброблювані фази, які, проходячи крізь шар насадки, інтенсивно взаємодіють одна з одною.

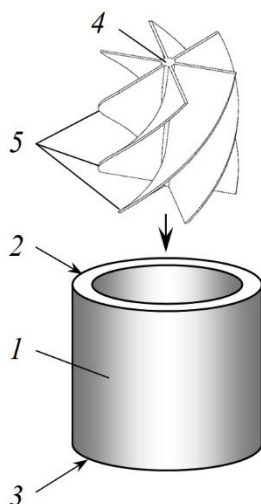


Рисунок 1 – Конструкція елемента насадки відповідно до пат. України 158992 U [10]
(пояснення в тексті)

Висновки. Завдяки наявності всередині насадки знімної вставки з поздовжніми гвинтовими ребрами збільшується питома поверхня насадки, підвищується турбулізація потоків та знижується або цілком унеможливується ймовірність «проскоку» оброблюваних фаз під час їх руху крізь насадку, що підвищує інтенсивність та ефективність тепломасообмінного процесу в апараті.

Перелік посилань

1. Мікульонюк І.О. Контактні та допоміжні пристрої тепломасообмінних колон. Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2022. 194 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50142>.
2. Mikulionok I.O. Classification of Nozzles of Mass Transfer Apparatuses // Russian Journal of Applied Chemistry. 2011. Vol. 83, № 9. P. 1631–1637. URL: <https://doi.org/10.1134/S107042721109031X>.
3. Пушнов А.С., Микулёнок И.О., Севрюков А.С., Беренгартен М.Г. Классификация конструкций насадок колонных аппаратов и методов интенсификации в них процессов тепломассообмена // Химическая технология. 2014. № 4. С. 244–250.
4. Мікульонюк І.О. Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси та обладнання хімічної технології. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 340 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38169>.
5. Mikulionok I.O. Ring packing contact elements of mass transfer devices (review of patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2018. Vol. 54, № 1–2. P. 125–129. URL: <https://doi.org/10.1007/s10556-018-0450-y>.
6. Мікульонюк І.О., Лукінюк М.В. Розміщення орієнтованої кільцевої насадки в колонних тепломасообмінних апаратах (Огляд) // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» : сер. «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». 2025. № 1(24). С. 26–36. URL: <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2025.325834>.
7. Мікульонюк І.О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів. Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2024. 296 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/68766>.
8. Мікульонюк І.О., Радченко Л.Б. Полімерні композитні матеріали й вироби з них. Одержання, перероблення та властивості. Київ : ІВЦ «Видавництво “Політехніка”», 2005. 179 с.
9. Мікульонюк І.О., Сокольський О.Л. Полімерні матеріали і вироби з них (одержання, перероблення, властивості). Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 208 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37632>.
10. Насадка тепломасообмінного апарата : пат. України 158992 U, МПК(2006.01) B01J 19/32 / І.О. Мікульонюк; заявник і володілець – КПП ім. Ігоря Сікорського. № u 2024 03117 ; заявл. 13.06.2024 ; опубл. 16.04.2025, Бюл. № 16.

Насадка масообмінного апарата у вигляді каркасної сфери

Гунчар Д.О., студ., Скомороха Н.В., студ., Мікульонок І.О., проф., д.т.н., с.н.с.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано конструкцію насадки масообмінного апарата, що містить три кільця, зафіксовані між собою й розташовані в трьох взаємноперпендикулярних площинах, при цьому кожне з кілець виконано у вигляді замкненої пружної плоскої стрічки з рівномірно розташованими по колу отворами з виконаною всередину чи назовні розбортовкою, яка звужується в напрямку від плоскої стрічки, кількість отворів кратна чотирьом, а фіксацію кілець забезпечено взаємодією між собою їхніх розбороток. Конструкція елемента забезпечує надійну фіксацією кілець між собою, а отже й потрібну жорсткість для збереження форми й розмірів елемента під час експлуатації масообмінного апарата, що сприяє стабільності перебігу масообмінного процесу.

Ключові слова: хімічна технологія, тепломасообмінний апарат, насадка, каркасна сфера, удосконалення.

Вступ. Розроблене технічне рішення належить до обладнання хімічних, нафтопереробних, харчових і споріднених виробництв, зокрема до нерегулярних насадок тепломасообмінних апаратів і може бути використане в ректифікаційних, абсорбційних та екстракційних колонах [1–6].

Найближчим до пропонованого технічного рішення є насадка масообмінного апарата, що містить три кільця, зафіксовані між собою й розташовані в трьох взаємноперпендикулярних площинах, при цьому кільця виготовлені із зовнішньою кільцевою западиною (пат. № UA133098U). Цей елемент має недостатню жорсткість, спричинену ненадійною фіксацією кілець між собою, що може призвести до втрати форми й розмірів елемента під час експлуатації масообмінного апарата, а отже й до неконтрольованого перебігу масообмінного процесу.

Виклад основного матеріалу. В основу пропонованого технічного рішення покладено задачу вдосконалити насадку масообмінного апарата, в якій її нове конструктивне виконання забезпечує надійну фіксацією кілець між собою, а отже й потрібну жорсткість для збереження форми й розмірів елемента під час експлуатації масообмінного апарата, що сприяє стабільності перебігу масообмінного процесу.

Поставлену задачу вирішують тим, що в насадці масообмінного апарата, що містить три кільця, зафіксовані між собою й розташовані в трьох взаємноперпендикулярних площинах, згідно з пропонованим технічним рішенням новим є те, що кожне з кілець виконано у вигляді замкненої пружної плоскої стрічки з рівномірно розташованими по колу отворами з виконаною всередину чи назовні розбортовкою, яка звужується в напрямку від плоскої стрічки, при цьому кількість отворів кратна чотирьом, а фіксацію кілець забезпечено взаємодією між собою їхніх розбороток, а фіксацію кілець забезпечено взаємодією між собою їхніх розбороток [7].

Суть пропонованого технічного рішення пояснюється рисунком, на якому наведено схему будови елемента насадки (рис. 1).

Елемент насадки містить три кільця 1–3, зафіксовані між собою й розташовані в трьох взаємноперпендикулярних площинах. Кожне з кілець 1–3 виконане у вигляді замкненої пружної плоскої стрічки з рівномірно розташованими по колу отворами 4 з виконаною всередину чи назовні розбортовкою 5, яка звужується в напрямку від плоскої стрічки, при цьому кількість отворів 4 кратна чотирьом, а фіксацію кілець 1–3 забезпечено взаємодією між собою їхніх розбороток 5 (кільця 1–3 можна отримати високотехнологічною операцією – штампуванням [8–10]). Всередині кілець 1 може бути розміщено тверде тіло обтічної форми 6 з нейтральною плавучістю, яке має форму кулі.

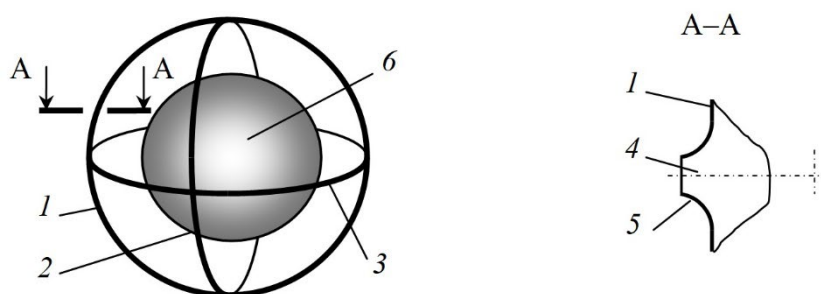


Рисунок 1 – Конструкція елемента насадки відповідно до пат. України 158209 U [7]
(пояснення в тексті)

Елемент насадки працює так.

Елементи насадки невпорядковано (безладно) засипають у масообмінний апарат, після цього в нього подають оброблювані фази, які, проходячи крізь шар насадки, інтенсивно взаємодіють одна з одною. При цьому тверде тіло обтічної форми 6 з нейтральною плавучістю збільшує питому поверхню контакту фаз, а також завдяки своїм хаотичним коливанням інтенсифікує масообмінний процес.

Висновки. Завдяки зазначеному конструктивному виконанню пропонується насадка характеризується високими технологічними та експлуатаційними властивостями, що сприяє стабільності перебігу процесу в масообмінному апараті.

Перелік посилань

1. Тютюнников А.Б., Товажнянский Л.Л., Готлинская А.П. Контактные элементы массообменных колонн. Киев : ИСИО, 1993. 440 с.
2. Врагов А.П. Массообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв. Суми : Університетська книга, 2007. 284 с.
3. Мікульонюк І.О. Контактні та допоміжні пристрої тепломасообмінних колон. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 194 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50142>.
4. Mikulionok I.O. Classification of Nozzles of Mass Transfer Apparatuses // Russian Journal of Applied Chemistry. 2011. Vol. 83, № 9. P. 1631–1637. URL: <https://doi.org/10.1134/S107042721109031X>.
5. Пушнов А.С., Микулёнок И.О., Севрюков А.С., Беренгартен М.Г. Классификация конструкций насадок колонных аппаратов и методов интенсификации в них процессов тепломассообмена // Химическая технология. 2014. № 4. С. 244–250.
6. Мікульонюк І.О. Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси та обладнання хімічної технології. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 340 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38169>.
7. Елемент насадки масообмінного апарата : пат. України 158209 U, МПК(2006.01) B01J 19/30 / І.О. Мікульонюк; заявник і володілець – КПІ ім. Ігоря Сікорського. № u 2024 02754 ; заявл. 27.05.2024 ; опубл. 08.01.2025, Бюл. № 2.
8. Мікульонюк І.О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 419 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/2061>.
9. Mikulionok I.O. Classification of stamped packing elements of mass-exchange apparatuses (survey of patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 56, № 9–10. P. 861–869. URL: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00853-9>
10. Мікульонюк І.О. Виготовлення обладнання хімічних виробництв. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 236 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50358>.

Елемент насадки тепломасообмінного апарата у вигляді тороїдального багатогранника

Витвицький В.М., студ., Партоленко О.К., студ.,
Мікульонюк І.О., проф., д.т.н., с.н.с., Витвицький В.М., PhD, ас.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано конструкцію елемента нерегулярної насадки тепломасообмінного апарата у вигляді тороїдального багатогранника. Конструкція елемента насадки підвищує його міцність та збільшує питому поверхню, що збільшує надійність та ефективність тепломасообмінного апарата в цілому.

Ключові слова: хімічна технологія, тепломасообмінний апарат, насадка, питома поверхня, тороїдальний багатогранник.

Вступ. Розроблене технічне рішення належить до обладнання хімічних, нафтопереробних, харчових і споріднених виробництв, зокрема до нерегулярних насадок тепломасообмінних апаратів і може бути використане в ректифікаційних, абсорбційних та екстракційних колонах [1–6].

Відомий елемент насадки масообмінного апарата, що має форму тетраедра (пат. № UA25414U). Цей елемент насадки має більш розвинену питому поверхню, проте його форма, що утворює чотири плоскі трикутні грані, не виключає можливості контакту сусідніх елементів у контактному шарі масообмінного апарата саме по їхніх гранях, що істотно знижує активну поверхню як окремого елемента насадки, так і контактної шару в цілому, а отже й ефективність процесу тепломасообміну в апараті.

Найближчим до пропонованого технічного рішення є елемент насадки масообмінного апарата, що має форму зірчастого багатогранника (пат. № UA153013U). Зазначений елемент має достатньо високу питому поверхню, проте верхівки його променів характеризуються низькою міцністю, що знижує надійність елементів та масообмінного апарата в цілому. Крім того, виконання елементів насадки у вигляді суцільного твердого тіла (без наскрізних порожнин) дещо знижує його питому поверхню, а також не сприяє інтенсивному поділу потоків оброблюваних фаз на мікропотоки, що знижує ефективність процесу масообміну.

Виклад основного матеріалу. В основу пропонованого технічного рішення покладено задачу вдосконалити елемент насадки масообмінного апарата, в якому його нове конструктивне виконання підвищує його міцність та збільшує питому поверхню, що підвищує надійність та ефективність масообмінного апарата в цілому.

Поставлена задача вирішується тим, що в елементі насадки масообмінного апарата, що має форму багатогранника, згідно з пропонованим технічним рішенням новим є те, що багатогранник виконано тороїдальним [7]. У переважних прикладах виконання елемента насадки він має форму багатокутного тора або розширеного кубооктаедра з видаленими ромбоподібними гранями.

На відміну від найближчого технічного рішення виконання елемента насадки з формою тороїдального багатогранника [8] забезпечує більш плавну його форму, що підвищує його міцність, а наявність щонайменше одного наскрізного каналу збільшує його питому поверхню, що підвищує надійність та ефективність масообмінного апарата в цілому.

Суть пропонованого технічного рішення пояснюється рисунком, на якому наведено схему будови пропонованого елемента насадки (рис. 1).

Пропонований елемент насадки масообмінного апарата має форму тороїдального багатогранника, зокрема форму багатокутного тора 1 або розширеного кубооктаедра 2 з видаленими ромбоподібними гранями 3.

Елемент насадки працює так.

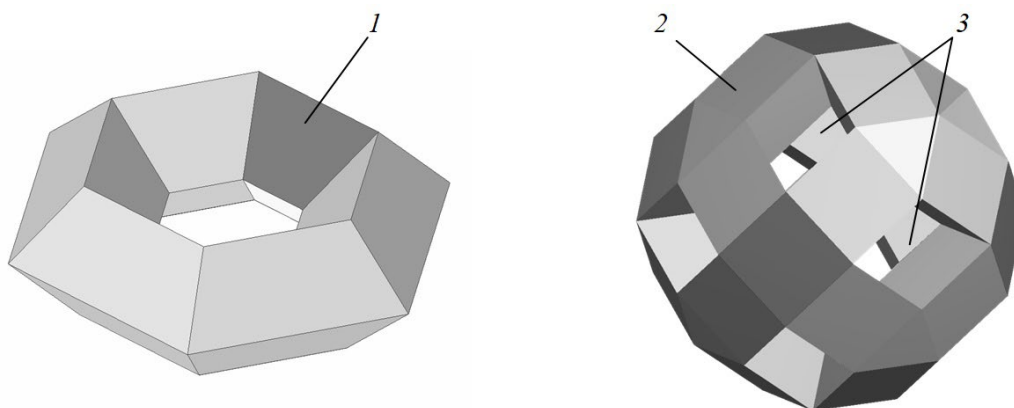


Рисунок 1 – Конструкція елемента насадки відповідно до пат. України 159182 U [6]
(пояснення в тексті)

Елементи насадки невпорядковано засипають у тепломасообмінний апарат, після чого в нього подають оброблювані фази. Завдяки наявності ребер між плоскими гранями тороїдального багатогранника, а також наскрізних каналів усередині елементів насадки, оброблювані фази, проходячи крізь шар насадки, інтенсивно перемішуються та взаємодіють одна з одною.

Висновки. Зазначений елемент насадки, який може бути виготовлений операціями штампування [9, 10] або 3D-друком [11], нескладний експлуатації, забезпечує високу ефективність процесу тепломасообміну та його стабільність.

Перелік посилань

1. Тютюнников А.Б., Товажнянский Л.Л., Готлинская А.П. Контактные элементы массообменных колонн. Киев : ИСХО, 1993. 440 с.
2. Врагов А.П. Массообменные процессы та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв. Суми : Університетська книга, 2007. 284 с.
3. Мікульонюк І.О. Контактні та допоміжні пристрої тепломасообмінних колон. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 194 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50142>.
4. Mikulionok I.O. Classification of Nozzles of Mass Transfer Apparatuses // Russian Journal of Applied Chemistry. 2011. Vol. 83, № 9. P. 1631–1637. URL: <https://doi.org/10.1134/S107042721109031X>.
5. Пушнов А.С., Микулёнок И.О., Севрюков А.С., Беренгартен М.Г. Классификация конструкций насадок колонных аппаратов и методов интенсификации в них процессов тепломассообмена // Химическая технология. 2014. № 4. С. 244–250.
6. Мікульонюк І.О. Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси та обладнання хімічної технології. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 340 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38169>.
7. Елемент насадки масообмінного апарата : пат. України 159182 U, МПК(2006.01) B01J 19/30 / І.О. Мікульонюк, В.М. Витвицький, Вл.М. Витвицький; заявник і володілець – КПІ ім. Ігоря Сікорського. № u 2023 06018; заявл. 12.12.2023 ; опубл. 07.05.2025, Бюл. № 19.
8. Тороїдальний многогранник. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Тороїдальний_многогранник (дата доступу: 05.05.2025).
9. Мікульонюк І.О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 419 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/2061>.
10. Мікульонюк І.О. Виготовлення обладнання хімічних виробництв. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 236 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50358>.
11. Мікульонюк І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів : навч. посіб. 3-тє вид., переробл. та доповн. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 296 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/68766>.

Пристрій для розмічання скошеного місця розрізання циліндричного об'єкта

Витвицький В.М., студ., Єлтунов В.С., студ.,
Мікульонок І.О., проф., д.т.н., с.н.с., Витвицький В.М., PhD, ас.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано конструкцію пристрою для розмічання скошеного місця розрізання циліндричного об'єкта, завдяки якій забезпечується зниження матеріалоемності пристрою в цілому та можливість зручної зміни розмірів його рамного елемента простим додаванням додаткових або прибиранням зайвих однотипних поздовжніх елементів, що істотно розширює експлуатаційні можливості пристрою.

Ключові слова: хімічне виробництво, трубопровідний транспорт, розрізання, циліндр, труба.

Вступ. Розроблене технічне рішення належить до машино- та апаратобудування хімічних, нафтохімічних, нафтогазових, харчових, теплоенергетичних та споріднених з ними виробництв, а також трубопровідного транспорту, зокрема до пристроїв для розмічання місць скошених розрізів різноманітних циліндричних об'єктів і насамперед труб великого діаметра (від 426 мм) [1–2].

Найближчим до пропонованого технічного рішення є пристрій для розмічання скошеного місця розрізання циліндричного об'єкта, наприклад, труб великого діаметра, що містить рамний елемент, розташований під час розмічання навколо циліндричного об'єкта, а також поздовжній розмічальний елемент, призначений для взаємодії з плоскою опорною поверхнею зазначеного рамного елемента, при цьому рамний елемент виконано у вигляді нескінченного дроту, що охоплює розташовані в одній площині й закріплені на спільному каркасі три блоки, а розмічальний елемент – у вигляді стрижня та натягнутого на нього шнура [3].

Цей пристрій надзвичайно складний у виготовленні та незручний в експлуатації (насамперед через наявність матеріалоемного каркасу та низьку жорсткість дроту й можливість його прогину під час взаємодії з розмічальним елементом, а отже й виникнення похибки розмічання).

Виклад основного матеріалу. В основу пропонованого технічного рішення покладено задачу вдосконалити пристрій для розмічання скошеного місця розрізання циліндричного об'єкта, наприклад, труб великого діаметра, у якому його нове конструктивне виконання забезпечує зниження його матеріалоемності та можливість зручної зміни розмірів рамного елемента простим додаванням додаткових або прибиранням зайвих однотипних поздовжніх елементів, що істотно розширює експлуатаційні можливості пристрою.

Сутність технічного рішення пояснюється рисунками, на яких зображено: на рис. 1, а – схема роботи пропонованого пристрою; на рис. 1, б – схема розташування сусідніх поздовжніх елементів рамного елемента; на рис. 1, в – розріз за А–А на рис. 2.

Пристрій для розмічання скошеного місця розрізання циліндричного об'єкта 1, наприклад, труби великого діаметра, що містить рамний елемент 2, розташований під час розмічання навколо циліндричного об'єкта 1, а також поздовжній розмічальний елемент 3, призначений для взаємодії з плоскою опорною поверхнею 4 зазначеного рамного елемента 2, який виконано з щонайменше трьох поздовжніх елементів 5, кожен з яких на одній з кінцевих ділянок оснащено шарнірно закріпленим повзуном 6, при цьому по довжині кожного з поздовжніх елементів 5 виконано наскрізний паз 7 для розміщення в ньому з можливістю фіксації в потрібному положенні повзуна 8 сусіднього поздовжнього елемента 5 (рис. 1–3). Наскрізний паз 7 у кожному з поздовжніх елементів 5 може бути виконано на поверхні, протилежній його опорній поверхні 4, а рамний елемент 2 – з можливістю змінювання кількості поздовжніх елементів 5.

Пристрій працює так.

Рамний елемент 2 встановлюють зовні циліндричного об'єкта 1 (для цього попередньо два сусідні поздовжні елементи 5 можна між собою роз'єднати). Після цього рамний елемент 2

повертають на потрібний кут відносно поздовжньої осі циліндричного об'єкта 1 і притискають поздовжній розмічальний елемент 3 до плоскої опорної поверхні 4 рамного елемента 2 і поступово повертають його навколо циліндричного об'єкта 1. При цьому завдяки наявності на поздовжньому розмічальному елементі 3, наприклад, крейди або фарби слід майбутньої лінії різку.

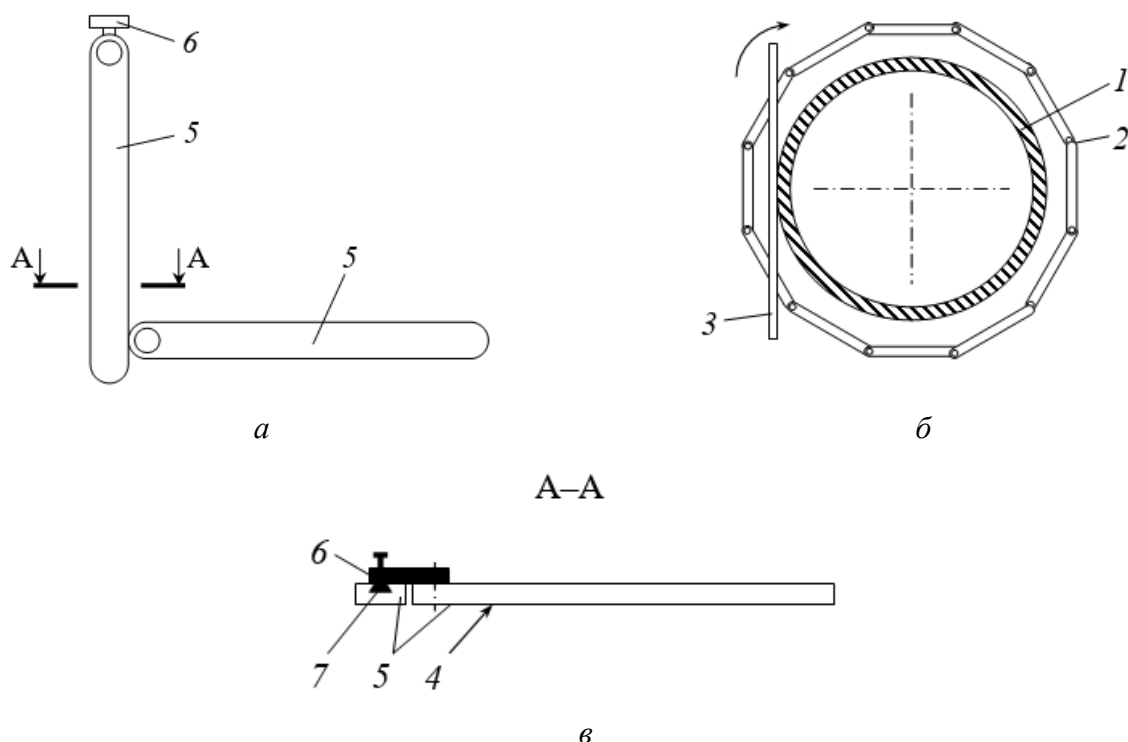


Рисунок 1 – Конструкція пристрою для розмічання скошеного місця розрізання циліндричного об'єкта до пат. України 157736 U [4]: *а* – схема роботи пропонованого пристрою; *б* – схема розташування сусідніх поздовжніх елементів рамного елемента; *в* – розріз за А–А на рис. 1, *б* (пояснення в тексті)

Висновки. Пропонований пристрій, нескладний у виготовленні та експлуатації, істотно покращує процес розмічання скосів циліндричних об'єктів.

Перелік посилань

1. Мікульонюк І.О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 419 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/2061>.
2. Мікульонюк І.О. Виготовлення обладнання хімічних виробництв. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 236 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50358>.
3. А. с. СРСР № 1444102 «Пристосування для розмічання труб великого діаметра», заявка № 4073124/25-27 від 18.04.1986, опубл. 15.12.1988.
4. Пристрій для розмічання скошеного місця розрізання циліндричного об'єкта: пат. України 157736 U. № u202401214; заявл. 06.03.2024; опуб. 21.11.2024, Бюл. № 47. 4 с.

Вдосконалення корпусу одночерв'ячного екструдера з метою поліпшення процесу екструзії

Мельник Д.С., студ., Витвицький В.М., PhD, ас., Олексішен В.М., PhD, ас.,
Демидик О.І., студ., Луцевят І.О., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Під час роботи екструдера виникає підвищене навантаження на кінцеву ділянку черв'яка, зумовлене високим тиском розплаву в зоні перед формуючою головкою. Це може призводити до прогину черв'яка, нерівномірної подачі матеріалу та порушення геометрії готового виробу. Завдяки модернізації корпусу шляхом введення кільцевої проточки з тілами обертання (наприклад, кульками), які утворюють плаваючу опору для черв'яка, забезпечується його стабілізація в радіальному та осьовому напрямках.

Це дозволяє знизити пульсації потоку, покращити гомогенізацію розплаву та забезпечити рівномірне надходження полімеру до формуючої головки. Як наслідок — зменшується кількість браку, підвищується точність та якість виготовлення трубчастих виробів.

Ключові слова: модернізація, корпус, черв'ячний екструдер, тіла обертання.

Вступ. У галузі виробництва та переробки полімерів і композитних матеріалів широко застосовується технологічне обладнання типу екструдерів. Екструдер — це машина, призначена для формування полімерних матеріалів шляхом продавлювання їх у розплавленому стані через профілюючий елемент, який надає виробу заданої геометричної форми [1–2].

Черв'ячні екструдери [3–4] традиційно використовуються як для безпосереднього формування виробів, так і для подачі розплаву в інші технологічні вузли. Однак класичні конструкції (рис. 1) часто виявляються недостатньо ефективними при роботі з розплавами, що мають змінну в'язкість або піддаються пульсаціям тиску поблизу зони формування. Це знижує стабільність процесу, негативно впливає на якість готової продукції та збільшує знос механізмів.

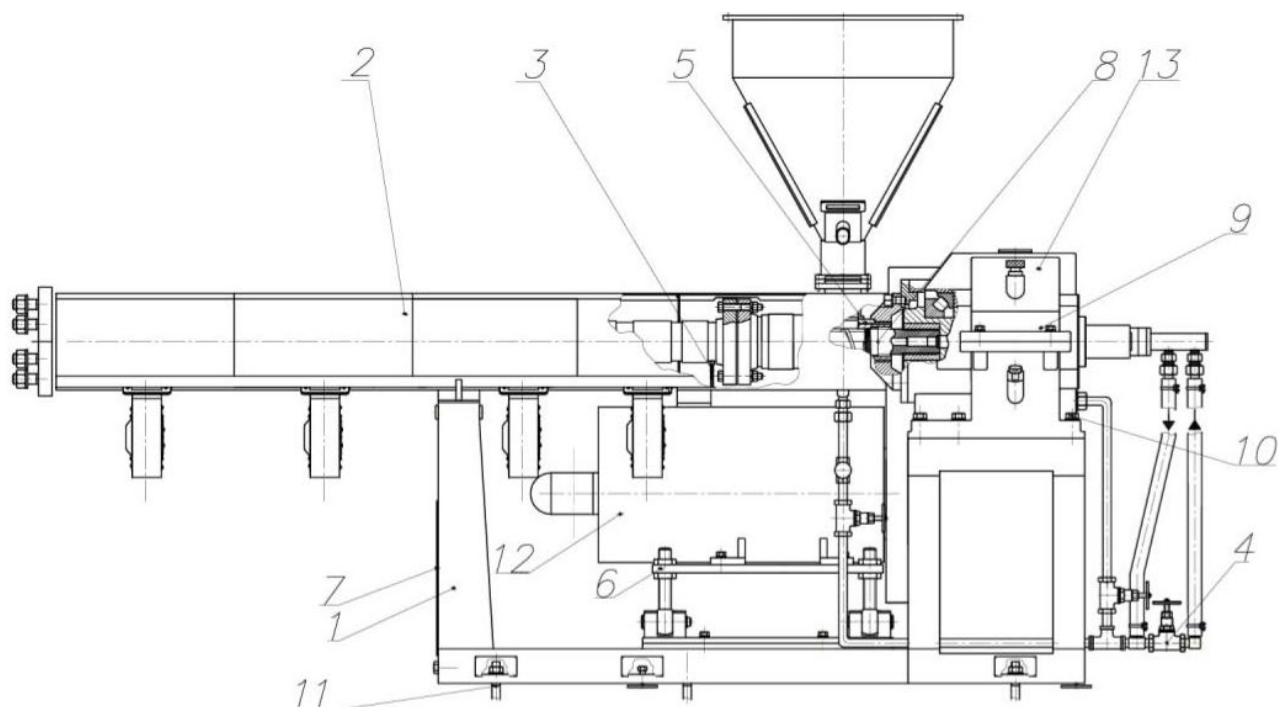


Рисунок 1 – Конструкція одночерв'ячного екструдера: 1 – рама; 2 – кожух корпуса; 3 – бункер; 4 – система охолодження; 5 – корпус; 6 – воронка завантажувальна; 7 – черв'як; 8 – втулка; 9 – плита несуча; 10 – редуктор; 11 – вентилятор; 12 – нагрівач; 13 – розвід проводів

У зв'язку з цим запропоновано модернізовану конструкцію корпусу екструдера, що передбачає виконання кільцевої проточки на внутрішній поверхні корпусу в зоні виходу розплаву, в яку розміщуються тіла обертання (кульки або ролики). Таке технічне рішення [5] забезпечує створення плаваючої опори для черв'яка, що дозволяє значно зменшити його прогин у зоні максимального тиску, покращити стабільність подачі матеріалу та підвищити рівномірність товщини сформованого виробу.

Крім того, взаємодія розплаву з тілами обертання сприяє додатковій гомогенізації потоку, а також знижує тертя між черв'яком і корпусом, що позитивно впливає на ресурс екструдера та якість продукції при обробці широкого спектра полімерних матеріалів.

Корпус екструдера (рис.2) містить порожнисту оболонку 1, в якій розміщено з можливістю обертання черв'як 2, що утворює з внутрішньою поверхнею корпусу робочий канал 3. У зоні виходу розплаву на внутрішній поверхні корпусу 1 виконано кільцеву проточку 4. У цій проточці встановлено тіла обертання 5, наприклад, кульки або ролики, які вільно обертаються та частково виступають у робочий канал 3.

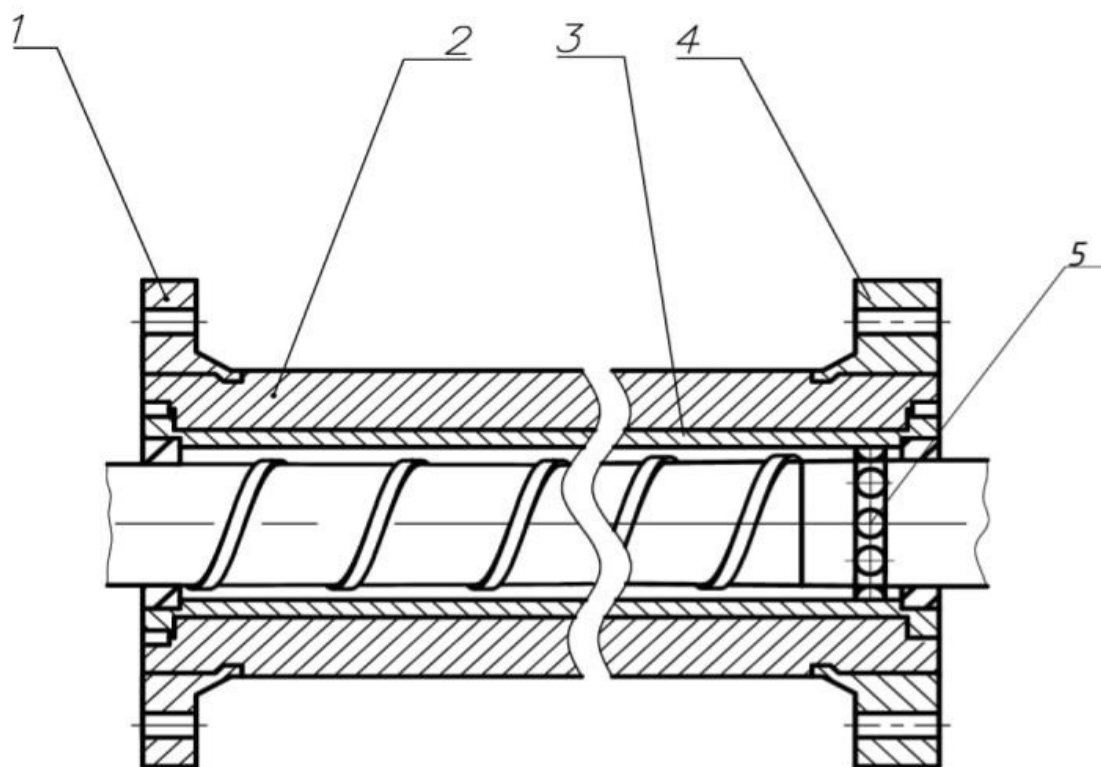


Рисунок 2 – Вигляд модернізованої конструкції корпусу [5]: 1 – фланець правий; 2 – корпус; 3 – гільза; 4 – фланець лівий; 5 – тіла обертання

Тіла обертання 5 встановлено таким чином, щоб вони забезпечували підтримку та стабілізацію кінцевої ділянки черв'яка 2 у радіальному та осьовому напрямках. При цьому кільцева проточка 4 має геометричні параметри, що забезпечують надійне утримання тіл обертання 5 і одночасно дозволяють їх заміну при обслуговуванні.

Під час роботи екструдера полімерний матеріал подається у робочий канал 3, транспортується черв'яком 2 та, проходячи через зону з тілами обертання 5, додатково гомогенізується. Окрім цього, кульки або ролики 5 створюють плаваючу опору, яка знижує навантаження на черв'як 2 і зменшує його прогин у зоні максимального тиску. Це підвищує стабільність подачі розплаву до формуючої головки та зменшує кількість браку.

Оснащення корпусу кільцевою проточкою з розміщеними в ній тілами обертання, наприклад кульками, істотно розширює функціональні можливості екструдера. Відповідно до цієї конструктивної моделі, під час раптової зміни тиску з боку розплаву в зоні виходу, тіла обертання частково сприймають навантаження, компенсуючи осьовий тиск на черв'як. Це

дозволяє стабілізувати його положення та зменшити пульсації потоку.

Завдяки вільному обертанню тіл у кільцевій проточці забезпечується ефект демпфування: при зростанні тиску частина зусиль передається на корпус через опорні елементи, що дозволяє рівномірно розподіляти навантаження й уникати прогину черв'яка.

Під час відтворених симуляцій потоку полімерів було встановлено, що основною перевагою такого технічного рішення є здатність конструкції стабілізувати тиск перед формуючою головкою та знизити рівень гідравлічних пульсацій. Це позитивно впливає на рівнотовщинність трубчастого виробу та зменшує частку бракованої продукції.

Висновки. Завдяки стабілізувальному впливу тіл обертання, розміщених у кільцевій проточці на внутрішній поверхні корпусу, можна стверджувати, що при навантаженнях до 50 МПа полімер проходить робочим каналом без різких пульсацій. Тіла обертання частково сприймають навантаження та компенсують осьовий тиск, тим самим стабілізуючи положення черв'яка й забезпечуючи рівномірність потоку полімеру в напрямку до формуючої головки.

Перелік посилань

1. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів: навч. посіб. / І. О. Мікульонок, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 200 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25367>.
2. Sayyad Zahid Qamar. Introductory Chapter: Extrusion - From Gear Manufacturing to Production of Cereals // Extrusion of Metals, Polymers and Food Products. 2018. URL: <https://doi.org/10.5772/intechopen.7055>.
3. Мікульонок І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології: Практикум : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 174 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41037>.
4. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 293 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35084>.
5. Пат. Україна No 98920, МПК B29C47/36, B30B9/14. Корпус екструдера для високомолекулярних сполук і матеріалів на їх основі / Мікульонок І.О. ; дата подання 05.12.2014; опубл. 12.05.2015. Бюл. No 9.

Модернізація системи впорскування термопластавтомата для підвищення якості лиття виробів із полімерних матеріалів

Богуш А.С., студ., Сідоров Д.Е., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано модернізацію системи впорскування термопластавтомата для підвищення якості лиття виробів із полімерних матеріалів.

Ключові слова: термопластавтомат, система впорскування, очищення сировини, рецикловані полімери, модернізація, якість лиття.

Вступ. Сучасне виробництво виробів із полімерних матеріалів вимагає підвищення якості та ефективності технологічних процесів лиття під тиском. Одним із ключових факторів, що впливають на якість готової продукції, є чистота сировини. Використання рециклованих полімерів, які часто містять домішки, потребує впровадження додаткових заходів очищення сировини перед її подачею у систему впорскування термопластавтомата [1]. Модернізація системи впорскування із застосуванням вузла очищення сировини дозволяє підвищити однорідність полімерної маси, знизити дефекти виробів і збільшити ресурс роботи обладнання.

Метою модернізації є підвищення якості лиття та стабільності роботи термопластавтомата за рахунок встановлення вузла запирання перед подачею її у системи ливників. Цей вузол, окрім дозування, забезпечує ефективний і рівномірний попередній підігрів полімерної маси, що знижує деталей, а також підвищує стабільність процесу лиття [2].

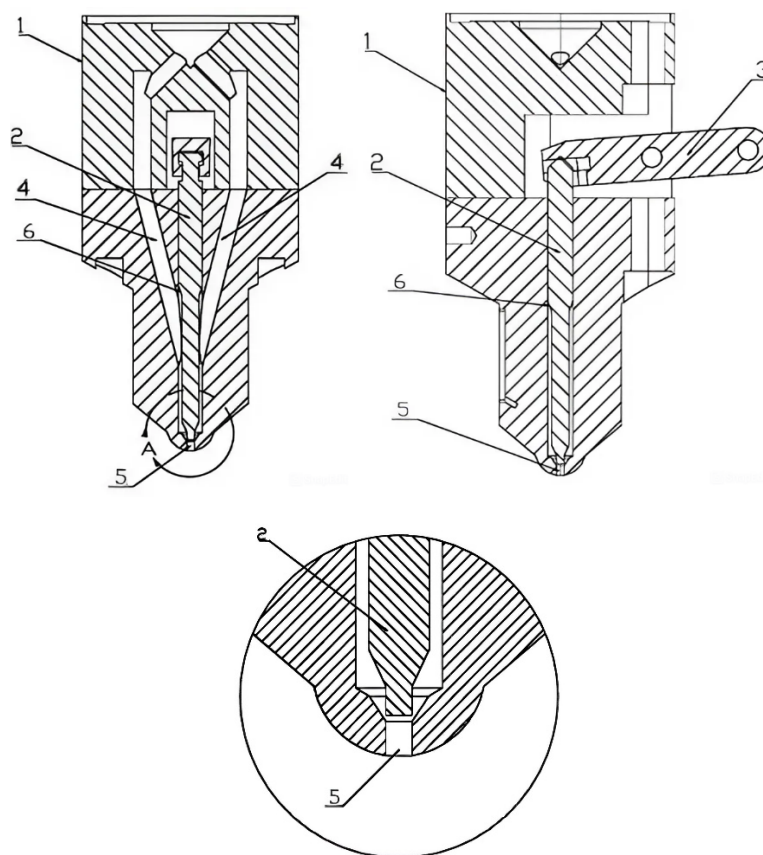


Рисунок 1 – Схема системи впорскування з інтегрованим вузлом очищення сировини:
1 - корпус сопла; 2 – закупорювальна голка; 3 – стяжна тяга; 4 – канал для матеріалу;
5 – випускний отвір; 6 – отвір закупорювальної голки

Закупорювальна голка (рис. 1, поз. 2) розташована всередині корпусу сопла 1 і є рухомих елементом, який відповідає за перекриття або відкриття каналу для полімерної маси 4. У звичайному стані голка знаходиться у задньому положенні, щільно закриваючи канал, що не дозволяє розплавленому полімеру витікати до початку процесу впорскування. Коли запускається цикл лиття, стяжна тяга 3 переміщує голку вперед, відкриваючи випускний отвір 5, через який полімер під тиском потрапляє у форму. Після завершення впорскування голка повертається у вихідне положення, знову перекриваючи канал і забезпечуючи герметичність системи.

У конструкції голки передбачений спеціальний отвір 6, який допомагає оптимізувати подачу матеріалу до випускного отвору. Це зменшує ризик закупорювання каналу, сприяє рівномірному наповненню форми та дозволяє уникнути підтікання полімеру після завершення циклу. Такий принцип роботи голки забезпечує точне дозування полімерної маси, стабільність процесу лиття та знижує ймовірність появи дефектів на готових виробах. Крім того, чітке перекриття каналу після кожного циклу допомагає зменшити зношування вузлів системи впорскування і підвищує надійність обладнання.

Додатково варто зазначити, що закупорювальна голка переміщується вздовж осі сопла завдяки дії стяжної тяги, яка може приводитися у рух як гідравлічним, так і пневматичним приводом. Такий спосіб керування забезпечує швидке та точне відкриття і закривання каналу, що особливо важливо при високошвидкісному литті. Конструкція голки розроблена таким чином, щоб мінімізувати зношування при багаторазових циклах роботи, а також спростити її обслуговування та заміну у разі необхідності.

Завдяки чіткому перекриттю каналу після завершення впорскування вдається уникати утворення полімерних "ниток" та підтікання матеріалу, що часто є причиною дефектів на поверхні готових виробів. Для підвищення зносостійкості голку виготовляють із загартованих легированих сталей, що дозволяє експлуатувати її у складних температурних і механічних умовах.

Додаткова інтеграція вузла очищення (не показано) дозволяє підвищити однорідність вторинної полімерної маси, що позитивно впливає на якість готових виробів, зменшуючи кількість дефектів, таких як сторонні вclusions або нерівномірне наповнення форми. Крім того, це рішення сприяє збільшенню ресурсу роботи вузлів системи впорскування та зниженню простоїв обладнання через необхідність ремонту.

Висновки. Застосування вузла очищення сировини є важливим у модернізації термопластавтомата, він дозволяє знизити ризик закупорювання каналів малого розміру у соплі, адаптувати обладнання до сучасних вимог виробництва з використанням вторинної сировини, підвищити ефективність технологічного процесу та знизити експлуатаційні витрати.

Перелік посилань

1. Мікульонюк І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 293 с.
2. Пат. CN114102997A, МПК B29C45/00. Injection molding machine and method for processing recycled plastics / заявник і власник: HAIYAN DONGSHENG PLASTIC MACHINERY CO LTD; заявл. 2021; опубл. 2022.

Апробація методики визначення глибини деструкції поверхні технічної гуми при лазерній обробці

Козік Д.О., студ., Бондар Р.В., студ., Сідоров Д.Е., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано методику вимірювання глибини деструкції по торцях обробленого лазером отвору у виробі з технічної гуми

Ключові слова: лазер, CO₂, технічна гума, деструкція.

Вступ. Лазерна обробка технічної гуми це сучасний і ефективний метод обробки що дозволяє отримати вироби довільної форми, наприклад ущільнення картерів автомобільної техніки та технологічного обладнання. Крім того, при такої технології не відбувається механічного контакту інструменту з виробом. Отже він не впливає на розмірну точність і не піддається зношуванню.

Режими роботи лазерних пристроїв для технологічної обробки матеріалів визначені в достатньо широких діапазонах, відомий механізм абляції [1, 2]. Однак досліджень впливу параметрів термопроменевої обробки гуми на глибину деструктивного шару поверхні як постпроцесового ефекту, через літературний пошук знайти не вдалося.

Основна частина. Попри те, що лазерна обробка полімерних матеріалів є вельми точною процедурою, термопроменева енергія викликає мікродфекти, що залишаються на поверхні деталі після обробки і можуть впливати як на розмірну точність, так і на хіміко-фізичні властивості виробу.

Величина таких мікродфектів визначає і визначається через глибину деструктивного шару. Оскільки теплопровідність технічної гуми відносно низька (0,15 Вт/(м·К)), а гума витримує короточасний нагрів до 300 С без деструкції, то при імпульсній обробці термопроменева енергія практично повністю витрачається на абляцію. Отже, деструктивний поверхневий шар формується у межах до (10 ... 20) мкм і має контрастний вигляд та характерну структуру поверхні.

Для визначення глибини деструктивного шару застосовано цифровий мікроскоп MT-PRO10PLUS. Виявилось, що найбільш раціонально використовувати збільшення від 30х до 40х (при технічному обмеженні 200х). При цьому точність вимірювань складає 0,1 мкм. Таким чином було досліджено 110 зразків при швидкості руху лазера 50 мм/с, з повторенням вимірів у десяти різних зонах для кожного. Після обробки даних отримана залежність виду:

$$h = 0,007W^2 + 0,243W + 8,149$$

де h – глибина деструктивного шару, мкм; W – потужність лазера, Вт.

Коефіцієнт детермінації обраної регресивної моделі визначився величиною $R^2 = 0,9$ в найбільш використаному діапазоні потужності (30 ... 80) Вт.

Висновки. Таким чином, показано можливість визначення глибини деструкції поверхні обробленого лазером гумового зразку, знайдено найбільш раціональну величину збільшення при оптичному дослідженні зразка, відпрацьована методика досліджень та обробки експериментальних даних, отримано регресивну модель достатньої точності.

Перелік посилань

- PHillman J. Laser Processing for Gasket Fabrication. – Universal Laser Systems, 2016. – 12 p. URL: https://cdn.ulsinc.com/assets/pdf/577d497b0454aa3d432e3aa0/laser_processing_for_gasket_fabrication.pdf.
- Cai S., Liu W., Chen D., Yu F., Tao N., Man J. Research and application of surface heat treatment for CO₂ continuous laser ablation of polymeric methyl methacrylate materials. RSC Advances. 2024;14(3):1909-1923. URL: <https://doi.org/10.1039/D3RA05391A>.

Дозатор гранул з модернізацією шнека

Гарбовський Д. А., студ., Сідоров Д. Е., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано модернізацію конструкції черв'ячного дозатора шляхом впровадження гнучких елементів у гвинтову поверхню шнека. Така конструкція дозволяє зменшити ймовірність закупорки каналу, знизити пошкодження матеріалу, забезпечити рівномірну подачу.

Ключові слова: черв'ячний дозатор, гнучкий шнек, гранули, транспортування, модернізація, еластична спіраль, дозуючий механізм.

Вступ. Сучасне обладнання для транспортування та дозування сипких матеріалів має забезпечувати не лише стабільну продуктивність, а й мінімальний рівень енергоспоживання, простоту виготовлення та обслуговування[1]. Особливу увагу при цьому приділяють робочим органам – зокрема, шнекам, конструкція яких визначає ефективність усього процесу [2].

Одним із напрямів підвищення технологічної та експлуатаційної ефективності є використання еластичних елементів у складі гвинтової поверхні шнека [3]. Такий підхід дозволяє зменшити навантаження на вузли тертя, зменшити втрати на подолання опору руху матеріалу та підвищити якість дозування.

Основна частина. Конструкція модернізованого дозатора базується на шнеку з еластичною гвинтовою поверхнею, що складається з центрального вала, несучої смугової спіралі та гнучкої робочої спіралі, яка кріпиться за допомогою механічних з'єднань (рис. 1). Особливістю модернізації є можливість виконання робочої спіралі як суцільною (рис. 2), так і секційною (рис. 3), що підвищує ремонтпридатність і дозволяє адаптувати конструкцію до різних технологічних умов.

Периферійна поверхня гнучкої спіралі має розрізні пелюстки різної ширини, що забезпечує більш рівномірну взаємодію з матеріалом і зменшує ризик його накопичення або закупорки у каналі.

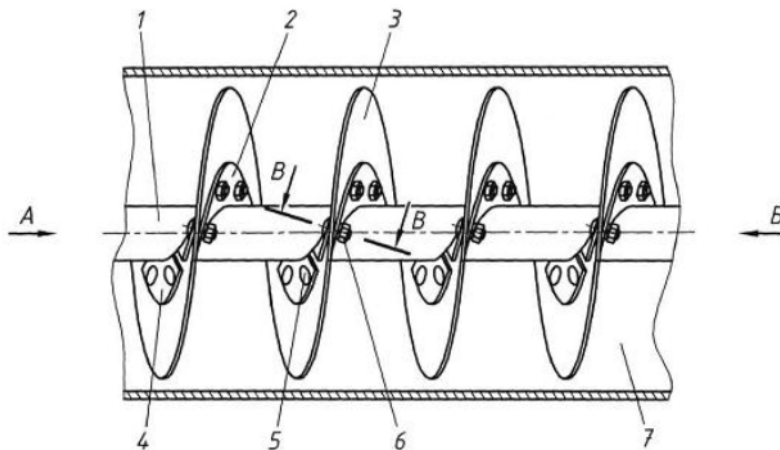


Рисунок 1 – Загальний вигляд модернізованого шнека з суцільною еластичною гвинтовою поверхнею, де:

- 1 – центральний вал; 2 – несуча смугова гвинтова спіраль; 3 – робоча еластична спіраль;
- 4 – секційна гвинтова пластина; 5 – болтове з'єднання з напівкруглою головкою; 6 – гайка з гравером; 7 – кожух дозатора.

Принцип дії модернізованого шнека полягає в тому, що під час обертання центрального вала еластична спіраль змінює своє положення залежно від сили опору матеріалу, частково деформуючись і компенсуючи можливе перевантаження. Така конструкція створює ефект «плаваючої» подачі, що стабілізує витрати й знижує знос як самого шнека, так і внутрішньої поверхні корпусу дозатора.

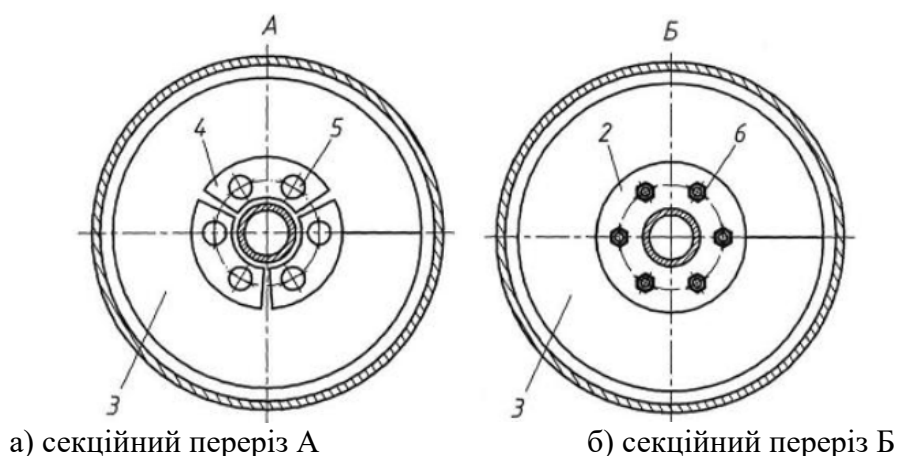


Рисунок 2 – Поперечні перерізи А і Б модернізованого шнека з суцільною еластичною гвинтовою поверхнею: 2 – несуча смугова гвинтова спіраль; 3 – робоча еластична спіраль; 4 – секційна гвинтова пластина; 5 – болтове з'єднання з напівкруглою головкою; 6 – гайка з гравером

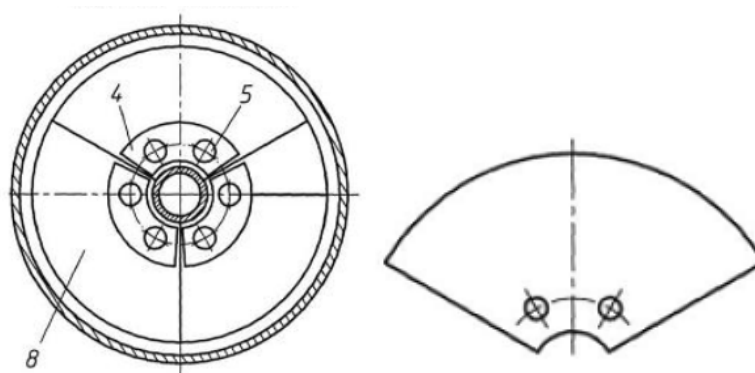


Рисунок 3 – Варіанти секційного виконання робочої спіралі шнека: 3 – робоча еластична спіраль; 4 – секційна гвинтова пластина; 5 – болтове з'єднання з напівкруглою головкою; 8 – пелюстковий елемент різної ширини

Висновки. Запропонована модернізація конструкції шнека шляхом впровадження еластичної гвинтової поверхні є перспективним напрямом удосконалення дозуючих пристроїв для подачі гранульованих матеріалів. Така конструкція дозволяє зменшити механічне навантаження на матеріал, покращити рівномірність транспортування та підвищити технологічну ефективність обладнання завдяки зниженню ризику закупорки та зносу механічних частин.

Перелік посилань

1. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І., Кохан О.О. Пакувальне обладнання. Підручник – К.: ІАЦ «Упаковка». 2010.-744 с.
2. Кодра Ю.В., Стоцько З.А., Гаврильченко О.В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання: Навч. пос. – Львів: „Бескид Біт”, 2008. – 356с.
3. Шнек з еластичною гвинтовою поверхнею. Патент на корисну модель. номер патенту – 101095; номер заявки – U201502180; дата подання заявки – 12.03.2015; дата публікації – 25.08.2015. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/870090>.

Дослідження продуктивності процесу просторового друку

Олексишен В.М., PhD, ас., Борщик С.О., ст. викл., Витвицький В.М., PhD, ас.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Представлено дослідження продуктивності FDM 3D друку термопластичним полімерним витратним матеріалом в залежності від швидкості переміщення друкувальної головки. Згідно отриманих даних, встановлено динаміку зміни різниці між теоретичним та фактичним часом друку в залежності від швидкості переміщення друкувальної головки.

Ключові слова: 3D принтер, FDM, друкувальна головка, Core XY, слайсер.

Вступ. Основним виконавчим органом 3D принтера є друкувальна головка або екструдер, що пошарово наносить розплав термопластичного полімерного матеріалу [1, 2]. Програмування переміщення головки відбувається в спеціалізованих програмах слайсерах, що ділять 3D модель виробу на шари та задають параметри руху. Проте розрахунковий час друку в даних програмах зазвичай менший від фактичного і різниця залежить від параметрів руху друкувальної головки.

Через сопло екструдера на робочу платформу подається розплавлений полімерний матеріал [3]. За одиницю часу витрачається наступна кількість

$$X = \pi \cdot d^2 / 4 \cdot V_{\text{под}} \cdot \rho,$$

де $V_{\text{под}}$ – швидкість подачі витратного матеріалу, м/с; d – діаметр сопла, мм; ρ – густина полімерного матеріалу.

Фактичний час необхідний на побудову виробу

$$T = V_{\text{екстр}} \cdot L \cdot K_{\text{інерц}} \cdot t_{\text{зупинок}},$$

де $V_{\text{екстр}}$ – швидкість переміщення екструдера, L – довжина всіх переміщень екструдера, $K_{\text{інерц}}$ – коефіцієнт інерційності принтера. Довжина переміщень екструдера складається з переміщень на побудову виробу та холостих проходів. Коефіцієнт інерції – комплексна величина, що приблизно визначається як відношення реального часу на друк до теоретичного часу (розрахункового) або часу друку слайсера:

$$W_{\text{факт}} = (T_{\text{факт}} - T_{\text{теор}}) / T_{\text{теор}} \cdot 100\%,$$

$$W_{\text{слайсер}} = (T_{\text{слайс}} - T_{\text{теор}}) / T_{\text{теор}} \cdot 100\%$$

Основним завданням є визначення швидкості подачі в залежності від товщини шару та швидкості переміщення екструдера, а також коефіцієнту інерції принтера. Для виконання дослідження використано 3D принтер типу Core XY, слайсер Cura 5.3, секундомір.

Параметри досліджуваного зразка: п'ятигранник, вписаний в коло діаметром $D = 40$ мм, висотою $H = 10$ мм, товщиною стінки $t = 1$ мм, а параметри друку: діаметр сопла $d = 0,5$ мм; швидкість друку $V_{\text{поч.}} = 10 \dots 60$ мм/с; товщина шару $h = 0,2$ мм. Було розраховано теоретичний час та виміряно фактичний час друку для різних швидкостей переміщення екструдера, розраховано коефіцієнт інерції. Результати представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Параметри дослідження

Швидкість друку $V_{\text{др}}$, мм/с	Час друку, $T_{\text{теор}}$, с	Час друку слайсера, $T_{\text{слайс}}$, с	Час друку фактичний $T_{\text{факт}}$, с	Різниця відносна $W_{\text{слайсер}}$, $(T_{\text{слайс}} - T_{\text{теор}}) / T_{\text{слайс}}$, %	Різниця відносна $W_{\text{факт}}$, $(T_{\text{факт}} - T_{\text{теор}}) / T_{\text{факт}}$, %
10	1139,25	2070	2091	44,96	45,52
20	569,62	1090	1163	47,74	51,02
30	379,75	864	938	56,05	59,51
40	284,81	551	647	48,31	55,98
50	227,85	445	568	48,79	59,88
60	189,87	375	493	49,37	61,48

З отриманих даних побудовано графіки залежності швидкості друку від фактичного та коефіцієнту інерції, закладеного у програмі-слайсері (Рис. 1, 2).

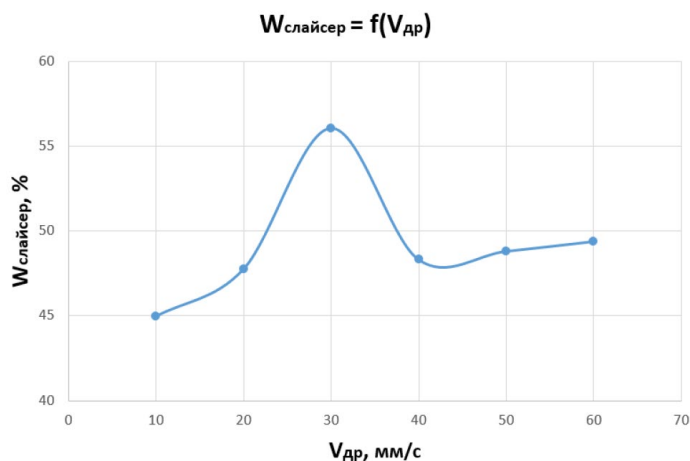


Рисунок 1 – Залежність швидкості друку від коефіцієнту інерції слайсера

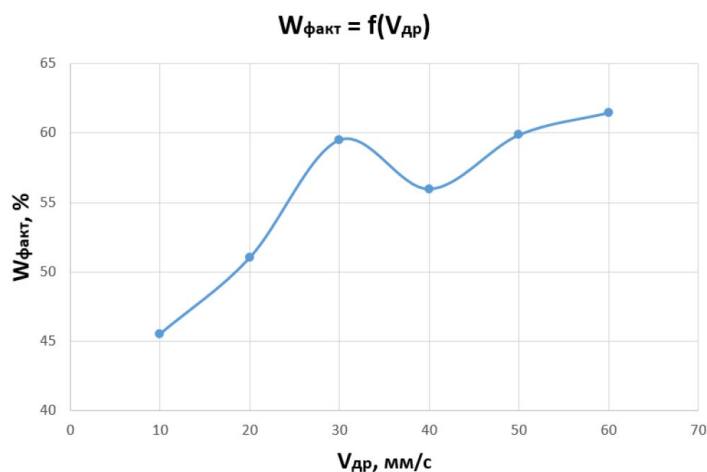


Рисунок 2 – Залежність швидкості друку від фактичного коефіцієнту інерції

Висновки. З отриманих залежностей видно, що зі збільшенням швидкості друку зростає відносна різниця між розрахунковим часом, визначеним слайсером, та фактичним і теоретичним часом.. Основними причинами відхилення є інертність механізму, особливості роботи електроніки, переходи між шарами та зупинки друкувальної головки. Інертність механізму залежить від типу конструкції, а саме кількості передавальних ланок від двигуна до точки кріплення екструдера.

Перелік посилань

1. Borelli V. *Kinematic and dynamic analysis of a machine for additive manufacturing*. Torino, 2018. 113 p. doi:10.3390/machines5040029.
2. Hejtmanek M. *Additive Manufacturing Technologies Utilization in Process Engineering*. Prague, 2017. doi:10.1007/s00170-015-7077-3.
3. Weikert S., Ratnaweera R., Zirn O., Wegener K. Modeling and measurement of H-Bot kinematic systems. *Swiss Federal Institute of Technology*. ETH. Zurich. 2010.

Огляд типових конструкцій FDM 3D принтерів

Олексишен В.М., PhD, ас. Борщик С.О., ст. викл.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Наведена класифікація FDM 3D принтерів, яка базується на принципі переміщення основних виконавчих органів, а саме друкувальної головки та робочої платформи 3D принтера. Виходячи з цього встановлено, що існує чотири основних типи конструкції FDM 3D принтерів такі, як картезіанська, дельта, полярна та схеми на основі роботизованого маніпулятора.

Ключові слова: 3D друк, FDM, адитивна технологія, картезіанська схема, друкувальна головка, платформа.

Вступ. У сфері адитивних технологій основним типом устаткування, що використовує термопластичну полімерну сировину є 3D принтери, що працюють за технологією FDM (Fused Deposition Modeling) – формування методом наплавлення[1, 2]. Це пристрої, що забезпечують формування виробів, шляхом пошарового нанесення розплаву полімерів. Конструкція FDM 3D принтерів залежить від того, як відбувається переміщення друкувальної головки відносно робочої платформи. На сьогоднішній день виділяють наступні типи кінематичних схем: картезіанська, дельта, полярна та на основі роботизованого маніпулятора.

Картезіанська схема (декартова) – це схема при якій основні робочі органи 3D принтера (друкувальна головка та робоча платформа) пересуваються вздовж взаємно перпендикулярних осей X, Y та Z [2,3,4]. Основними підвидами є:

1. Платформа рухається вздовж осі Y, а екструдер по X та Z. (Рис.1.а)
2. Платформа рухається по осі Z, а екструдер по X та Y. Головними підвидами даної кінематики є: Makerbot, CoreXY та H-Bot (Рис.1.б).
3. Платформа рухається по Y та Z, екструдер – X. (Рис.1.в)
4. Платформа нерухома, а екструдер рухається по осям X, Y та Z. (Рис.1.г)
5. Платформа рухається по X та Y, екструдер рухається по Z. (Рис.1.д)

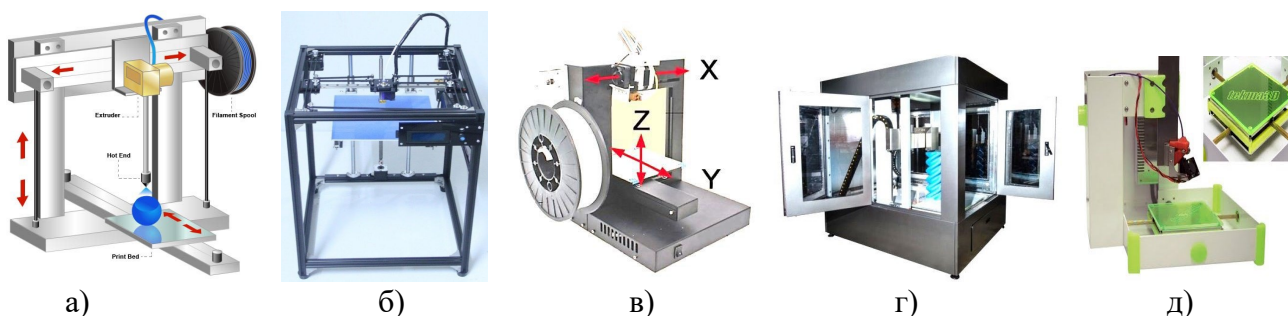


Рисунок 1 – FDM 3D принтери картезіанської схеми та приклади комерційних моделей кожного з підвидів: а) Prusa MK3S; б) Makerbot; в) PP3DP; г) AM1; д) Tekma3D TM1

Дельта схема – схема, що має нерухомий стіл, а екструдер переміщується за допомогою взаємозалежних направляючих осей XYZ, що в просторі утворюють піраміду-тетраедр [5].



Рисунок 2 – Типовий вигляд FDM 3D-принтерів типу Дельта: Mass Portal D300; 3DQuality Prism Pro Dual; Anet A4

Полярна схема - схема, в якій позиціонування екструдера задається не координатами XYZ, а радіусом та кутом [6]. Платформа в такій схемі кругла, обертається та рухається вздовж горизонтальної осі.

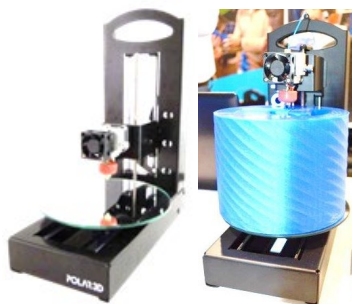


Рисунок 3 – FDM 3D-принтер Polar 3D: загальний вигляд та процес друку

Схема на основі роботизованого маніпулятора [7] є найбільш сучасною комплексною схемою. Вона включає механіку на основі роботизованого маніпулятора на яку кріпиться екструзійна головка.



Рисунок 4 – Портативний багатофункціональний роботизований маніпулятор з можливістю 3D друку DOBOT M1

Висновки. Розглянуто основні схеми FDM 3D принтерів, а саме: картезіанська, дельта, полярна та на основі роботизованого маніпулятора. Кожна зі схем включає десятки та сотні моделей від різних виробників адитивного обладнання. Найпоширенішою є картезіанська схема, що об'єднує ряд підвидів, серед яких: Prusa, Core-XY та H-Bot. Пристрої цих схем найбільш якісні та ефективні. Дельта займає близько 5–7% світового ринку. Вона є високопродуктивною і точною. Полярна схема найновіша, проте не отримала широкого практичного поширення. Схема на основі роботизованого маніпулятора є яскравим прикладом впровадження технології 3D друку для серійного виробництва. Технологія FDM розвивається, створюються нові типи та види обладнання. Це дає напрямки подальших досліджень для вибору найбільш доцільних засобів 3D друку у залежності від поставлених завдань.

Перелік посилань

1. Xiao-Su Yi, Shanyi Du, Litong Zhang, (eds.). *Composite Materials Engineering. Fundamentals of Composite Materials*. Springer, Singapore. 2018. Vol. 1. doi:10.1007/978-981-10-5696-3.
2. Borelli V. *Kinematic and dynamic analysis of a machine for additive manufacturing*. Torino, 2018. 113 p. doi:10.3390/machines5040029.
3. Hejtmanek M. *Additive Manufacturing Technologies Utilization in Process Engineering*. Prague, 2017. doi:10.1007/s00170-015-7077-3.
4. Weikert S., Ratnaweera R., Zirn O., Wegener K. Modeling and measurement of H-Bot kinematic systems. *Swiss Federal Institute of Technology*. ETH. Zurich. 2010.
5. What is a Delta 3D Printer? – Simply Explained. URL: <https://all3dp.com/2/what-is-a-delta-3d-printer-simply-explained>
6. Mass Portal D300. URL: <https://www.3d-tulostus.fi/Mass-Portal-D300/en>
7. DOBOT M1 SCARA Collaborative Robot Arm. URL: <https://www.dobot.cc/dobot-m1/product-overview.html>

Спосіб 3D-друку виробів із рідких матеріалів, що твердіють

Олексишен В.М., PhD, ас., Борщик С.О., ст. викл.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Конструкція друкувальної головки належить до галузі тривимірного друку і може бути використана в конструкціях 3D-принтерів, які створюють вироби пошаровим нанесенням матеріалів. Процес тривимірного друку полімерних виробів включає пошаровий друк контурного шару з полімерного матеріалу, що подають крізь екструзійну головку, та рідкого компоненту, який наносять в порожнину. Рідкий компонент подають крізь сопло з клапаном, яке попередньо з'єднують шлангом з ємністю для рідкого компоненту та пристроєм його подачі.

Ключові слова: просторовий друк, полімер, екструдер, друкувальна головка.

Вступ. Для 3D-друку різноманітних виробів поширення набули способи, в яких об'єкти створюють пошаровим нанесенням рідкого матеріалу, що здатний швидко твердіти. Одними з основних є способи, в яких пруток полімерного матеріалу розплавляється та видавлюється у вигляді нитки розплаву [1,2]. Недоліком даного способу є неможливість друкувати вироби із матеріалів з малою в'язкістю та таких, що повільно твердіють [3,4].

В основу модернізованої головки покладено задачу вдосконалення способу 3D-друку полімерних виробів, у якій є можливість створення виробів шляхом пошарового нанесення рідкого компоненту, який здатний твердіти, в порожнину, утворену термопластичним контурним шаром, що покращить механічні властивості одержуваних полімерних виробів.

Поставлена задача вирішується тим, що, в способі 3D-друку полімерних виробів, який включає пошаровий друк контурного шару з вихідного полімерного матеріалу, що подають крізь екструзійну головку, та рідкого компоненту, який наносять в порожнину, утворену контурним шаром, новим є те, що, рідкий компонент подають крізь сопло з клапаном, яке попередньо з'єднують шлангом з ємністю для рідкого компоненту та пристроєм його подачі.

Як рідкий компонент використовують реактопластичні смоли з отверджувачем, фотополімери, розчини полімерів, здатні до твердіння дисперсії, що містять дисперсні наповнювачі.

Як вихідний полімерний матеріал для пошарового друку контурного шару використовують термопластичний матеріал, а після твердіння рідкого компоненту контурний шар видаляють або механічно, або розчиненням, або розплавленням.

Сутність пропонованого вдосконалення пояснюється рис. 1, на якому зображено схему 3D-друку полімерних виробів, за допомогою якої реалізують розроблений спосіб.

Під час реалізації способу на підложку 1 наносять контурний шар 2 заданої висоти та товщини з термопластичного матеріалу 3, який розплавляють і подають екструзійною головкою 4 за рахунок її пересування відносно підложки 1 по горизонтальних координатах X та Y.

У порожнину, утворену контурним шаром 2, з ємності 5 пристроєм подачі 6 крізь сопло 7 та відкритий клапан 8 подають рідкий компонент 9 до рівня, який не перевищує висоту контурного шару 2. Після цього подачу рідкого компоненту припиняють, клапан 8 закривають та зсувають екструзійну головку 4 відносно підложки 1 у вертикальному напрямі Z на висоту наступного контурного шару 2. Перелічені дії повторюють до повного формування виробу заданої конфігурації.

Термопластичним матеріалом можуть бути пластмаси на основі термопластичних полімерів, віск, парафін і т. п. Рідким компонентом можуть бути реактопластичні смоли з отверджувачем, фотополімери, розчини полімерів, здатні до твердіння дисперсії і т. п. Рідкий компонент може містити дисперсні наповнювачі, які модифікують його властивості.

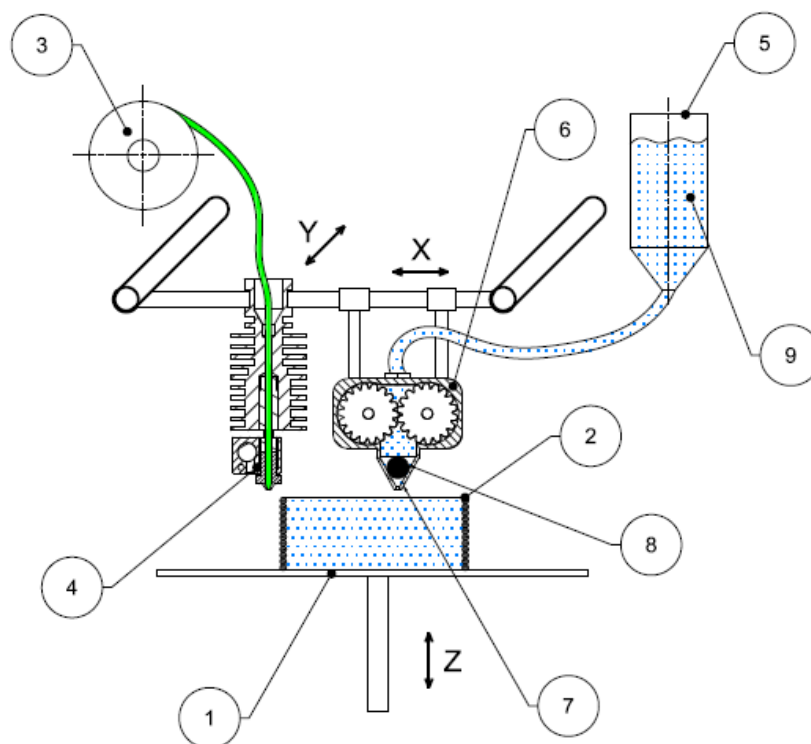


Рисунок 1 – Конструкція модернізованої друкувальної головки (пояснення в тексті)

Після твердіння рідкого компонента контурний шар може бути видалено механічно, розчиненням у розчинниках, які не розчиняють застиглий рідкий компонент, або розплавленням.

Таким чином, за рахунок використання запропонованого способу 3D-друку полімерних виробів досягається можливість створення полімерних виробів з армуючими наповнювачами, що сприяє підвищенню їх міцності та жорсткості.

Висновки. Запропонований спосіб 3D-друку полімерних виробів та модернізована конструкція друкувальної головки включає пошаровий друк контурного шару з вихідного полімерного матеріалу, що подають крізь екструдер, та рідкого компонента, який наносять в порожнину, утворену контурним шаром. Рідкий компонент подають крізь сопло з клапаном, яке попередньо з'єднують шлангом з ємністю для рідкого компонента та пристроєм його подачі. Такий спосіб дозволяє використовувати як рідкий компонент реактопластичні смоли з отверджувачем, фотополімери, розчини полімерів, здатні до твердіння дисперсії, що містять дисперсні наповнювачі. Таким чином, можна автоматизовано отримувати вироби із реактопластичних та композиційних матеріалів з підвищеними фізико-механічними властивостями, які зазвичай не піддаються формуванню методами 3D-друку.

Перелік посилань

1. Borelli V. *Kinematic and dynamic analysis of a machine for additive manufacturing*. Torino, 2018. 113 p. doi:10.3390/machines5040029.
2. Hejtmanek M. *Additive Manufacturing Technologies Utilization in Process Engineering*. Prague, 2017. doi:10.1007/s00170-015-7077-3.
3. US 2015/0140158 A1, МПК В29С 67/0085, В29С 67/0051, опубл. 21.05.2015.
4. CN 106493939, МПК В29С 64/122, опубл. 22.12.2016