

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології
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
XXIII Всеукраїнської
науково-практичної конференції**

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

Київ, 8-9 червня 2026 року

УДК 678.05

ББК 30

Збірник доповідей XXIII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 128 с.

Видання містить програму та доповіді (в редакції авторів) XXIII Всеукраїнської науково-практичної конференції, що відбулася на кафедрі хімічного, полімерного і силікатного машинобудування факультету автоматизації, промислової інженерії та екології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» 8-9 червня 2026 року.

Для науковців, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів.

Рекомендовано до друку Вченою радою ФАПІЕ 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. співроб., професор, професор каф. ХПСМ КПІ

ім. Ігоря Сікорського Карвацький А.Я.,

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

професор, професор каф. ХПСМ КПІ ім. Ігоря Сікорського Мікульонок 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. МОТП 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, 2026

© КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНКІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОЦЕСІВ	Стор.
--	-------

Горбатенко М.В., Шеремет Я.В., Гондлях О.В. Підвищення надійності роботи роликкоопори стрічкового конвеєра	5
Dunin K. D., Ratushynskyi I.I., Hondliakh O. V. Co-extrusion Head for the Production of Double-Layer Pipes with Enhanced Interlayer Adhesion	11
Сопулів Н.Е., Демидик О.І., Шеремет Я.В., Борщик С.О. Млин трубний з модернізацією розвантажувальної частини	15
Єлінов М.М., Бернадін В.М., Гур'єва Л.Н. Підвищення теплопровідності дорнотримача формуючої головки для екструзії труб	19
Вітківська А.В., Гунчар Д.О., Гур'єва Л.Н. Модернізація пластикаційного механізму термопластавтомата ТПА-250	24
Карвацький А.Я., Походенко О.Т., Луцевят І.О. Аналіз перспективи застосування біоміметичних полімерно-керамічних композитних матеріалів в авіабудуванні	27
Бондаренко А.М., Сокольський О.Л. Мікромеханічний аналіз та моделювання лляних/епоксидних ламінатів	29
Сідоров Д.Е., Гарбовський Д.А. Дослідження модернізованого шнека дозатора гранул Козік Д.О., Сорока І.Д., Сідоров Д.Е. Теплове моделювання локального впливу CO ₂ -лазера на OLIO Laserrubber	32
Панцир А.С., Чемерис А.О. Моделювання процесів змішування розплавів термопластів у динамічному змішувачі	35
Шилевич Т.Б., Тарасюк Х.І., Козловець А.О. Модернізація формуючої головки	37
Шилевич І.Л., Гроховецький В.С. Дослідження електричного стану робочої комірки печі Ачесона	40
Панченко О.В., Іваннікова К.Е., Швачко Д.Г. Дослідження модернізованої міжкамерної перегородки трубного млина	43
Курлович О.А., Стерпу А.Е., Швачко Д.Г. Модернізація натяжного пристрою пластинчастого живильника	47
Шпак О.Л., Яцук В.Д., Мікульонюк І.О., Швачко Д.Г. Удосконалення футерівки однокамерного млина	51
Іванюк О.Є., Витвицький В.М., Мікульонюк І.О. Оцінка напружено-деформованого стану вдосконаленої конструкції черв'яка екструдера	55
Шапран Д.Р., Швець Д.А., Витвицький В.М., Мікульонюк І.О. Дослідження напружено-деформованого стану корпусу екструдера	58
Витвицький В.М., Походенко О.Т., Карвацький К.Ю. Дослідження руйнування матеріалів методами молекулярної динаміки з використанням силового поля ReaxFF ..	62
Пушкарьова К.К., Глумаков І.О., Снігур О.В. Наномодифікація гідротехнічних бетонів як спосіб покращення їх водостійкості та довговічності	66
	69

СЕКЦІЯ МАШИНИ І ТЕХНОЛОГІЇ ПАКУВАННЯ

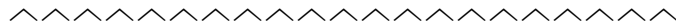
Слабинський С.О., Карасьов В.С., Федоряченко Ю.А., Герасименко Ю.Ю. Модернізація багатоспіральної екструзійної головки для переробки полімерів з високою температурою плавлення	72
Гафинець Т.М., Козловець А.О., Казак І.О. Модернізація екструзійної головки екструдера для виготовлення полімерної рукавної плівки з метою підвищення якості ..	75
Ковтанюк Р.О., Партоленко О.К., Олексішен В.О. Модифікація екструзійної головки екструдера для виготовлення полімерної рукавної плівки	77

Йовченко М.В., Сокольський О.Л., Партоленко О.К. Модернізація штока дозатора розливного автомата карусельного типу	80
Новохатський Д.О., Сокольський О.Л., Коцюба З.М. Форма для термоформування ємностей з багаторазовим відкриванням	82
Крижановський О.І., Шатківський М.О., Швачко Д.Г. Удосконалення агрегату з виробництва рукавної плівки.....	84
Кривенко Н.Р., Шилович Т.Б. Утилізація штучного каучуку як одне з рішень по збереженню навколишнього середовища	87

СЕКЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ І ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Буканов М.Є., Чобіток С.В., Казак І.О. Удосконалення конструкції ексцентрикового валу щоклової дробарки для забезпечення самобалансування	89
Вовк В.В., Федірко С.О., Казак І.О. Удосконалення теплового регулювання валка вальців для гуми	91
Кушнар'єв Р.О., Стерпу А.Е., Казак І.О. Удосконалення конструкції шнекового живильника на основі застосування шнеку гребінчастою структурою для забезпечення стабільного транспортування матеріалу	93
Іщук В.Є., Загорський І.Б., Гур'єва Л.Н. Екструзійна головка для виробництва виробів з полімерних матеріалів.....	95
Шевцов А.О., Луцевят І.О., Гур'єва Л.Н. Черв'ячна машина для перероблення матеріалів з використанням високомолекулярних сполук.....	97
Гунчар Д.О., Віноват І.О., Мікульонюк І.О. Насадка тепломасообмінного апарату у вигляді опукло-увігнутої оболонки.....	100
Козловський І.А., Бернадін В.М., Мікульонюк І.О. Насадка-трансформер тепломасообмінного апарату	102
Шапран Д.Р., Швець Д.А., Мікульонюк І.О., Витвицький В.М. Удосконалення змішувальної ділянки корпусу одношнекового преса.....	104
Іванюк О.Є., Гануш Р.О., Мікульонюк І.О., Витвицький В.М. Удосконалення наконечника шнека одношнекового преса	106
Лабуренко Д.О., Шермазанян А.О., Олексішен В.О. Модифікована конструкція екструдерного шнека для підвищення ефективності процесу екструзії.....	108
Хорошун Ю.В., Сокольський О.Л., Скомороха Н.В. Вдосконалення завантажувального бункера екструдера	110
Костюченко Д.О., Мальчевський О.Т., Сокольський О.Л. Покращення процесу утилізації полімерів методом екструзії шляхом модернізації конструкції черв'яка.....	112
Білецький К.М., Сокольський О.Л., Коцюба Н.М. Модернізація футеровки барабанного кульового млина.....	114
Кочума М.В., Сівецький В.І. Комбінована система терморегулювання валків валкових машин для переробки полімерних матеріалів	116
Ходжаян С.К., Бондар Р.В., Сідоров Д.Е. Вдосконалення конструкції екструдера для переробки термопластів.....	118
Воробйов К.В., Сідоров Д.Е. Вальці для підготовки гумової суміші з модернізацією валків	119
Пригода Р.С., Петров Д.Г., Швачко Д.Г. Модернізація дебалансного вібратора віброшнекового живильника комбікормового виробництва	121
Ткаченко В.І., Шилович Т.Б., Демидик О.І. Дослідження енергоефективності та надійності модернізованої валкової дробарки для подрібнення механічного забруднення у стічній воді	124
Толкачов Д.А., Шилович Т.Б. Екструдер з модернізованим черв'яком	126

СЕКЦІЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНКІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОЦЕСІВ



Підвищення надійності роботи роlikоопори стрічкового конвеєра

Горбатенко М.В., студ., Шеремет Я.В., студ., Гондляр О.В., д.т.н., проф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

У даній роботі розглядається вплив модернізації роlikоопори стрічкового конвеєра для транспортування вугілля на зміну напружено-деформованого стану конструкції. Метою роботи є підвищення надійності та довговічності роlikоопори за рахунок впровадження захисних П-подібних скоб. Проведено порівняльні розрахунки на міцність модернізованої та немодернізованої конструкції у програмному комплексі ANSYS, а також розроблено їх 3D-моделі у системі SolidWorks

Ключові слова: роlikоопора, стрічковий конвеєр, вугілля, П-подібна скоба, надійність, метод скінченних елементів, ANSYS, SolidWorks

Вступ. Роlikоопори стрічкових конвеєрів, що працюють у важких умовах, часто зазнають ударних навантажень, що призводить до зіткнення роликів із рамою постапу. Існуючі конструкції не забезпечують достатньої надійності при транспортуванні матеріалів із великими включеннями [1].

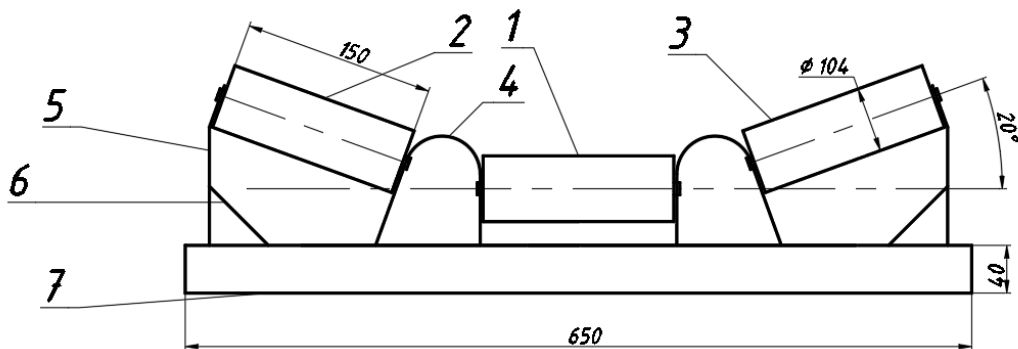


Рисунок 1 – Роlikоопора: 1 – середня вісь; 2, 3 – бокові осі, 4 – з'єднання; 5 – кронштейна-стійка; 6 – кронштейн гнугий; 7 – стійка

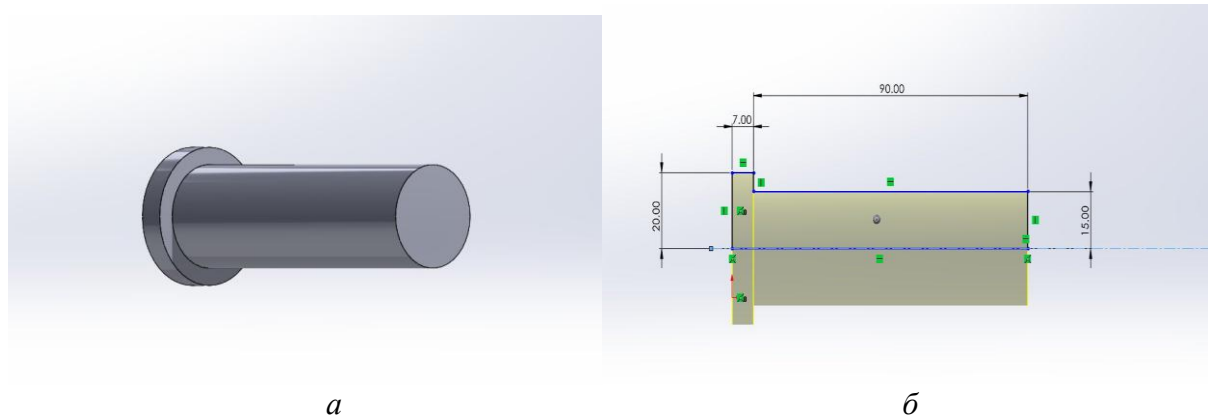


Рисунок 2 – Шарнір: а – 3Д модель у SolidWorks; б – схема з розмірами (загальна довжина – 90 мм, діаметр осі – 15 мм, діаметр буртика – 20 мм, довжина буртика – 7 мм)

Основна частина. Представлений немодернізований варіант конструкції не забезпечує достатньої експлуатаційної надійності через те, що осі роликів розташовані безпосередньо над металевою рамою поставу без будь-якого захисного бар'єра.. Постійна ударна взаємодія за принципом «метал по металу» створює надлишкові напруження, що суттєво знижує довговічність обладнання та потребує регулярних витрат на ремонт.

Для вирішення цих проблем пропонується модернізація роликотопори згідно з патентом UA 126108 [2].

Модернізація конструкції. Модернізована роликотопора містить середню 1 та дві бокові 2, 3 осі з вільно встановленими роликами 4, 5. Основним конструктивним вдосконаленням є з'єднання кінців осей жорсткими П-подібними скобами 11, 12, 13. При виникненні ударних навантажень саме скоби взаємодіють із поставом 10, що повністю виключає контакт роликів із металоконструкцією. Це забезпечує кращу адаптацію до навантаження та вирівнювання стрічки 6.

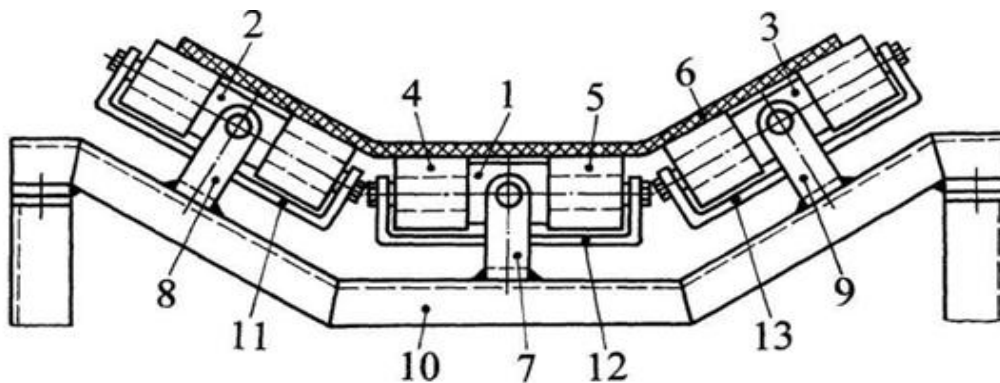


Рисунок 3 – Роликотопора стрічкового конвеєра:

1 – середня вісь; 2, 3 – бокові осі; 4, 5 – ролики; 6 – стрічка; 7, 8, 9 – стійки; 10 – постав;
11, 12, 13 – П-подібні скоби

Розрахункова схема з умовами навантаження. Для оцінки міцності роликотопори та обґрунтування ефективності модернізації виконано числовий розрахунок методом скінченних елементів у середовищі ANSYS Workbench (модуль Static Structural). Розрахункова схема з накладеними умовами закріплення (Fixed Support) та прикладеними силами наведена на рис. 4.

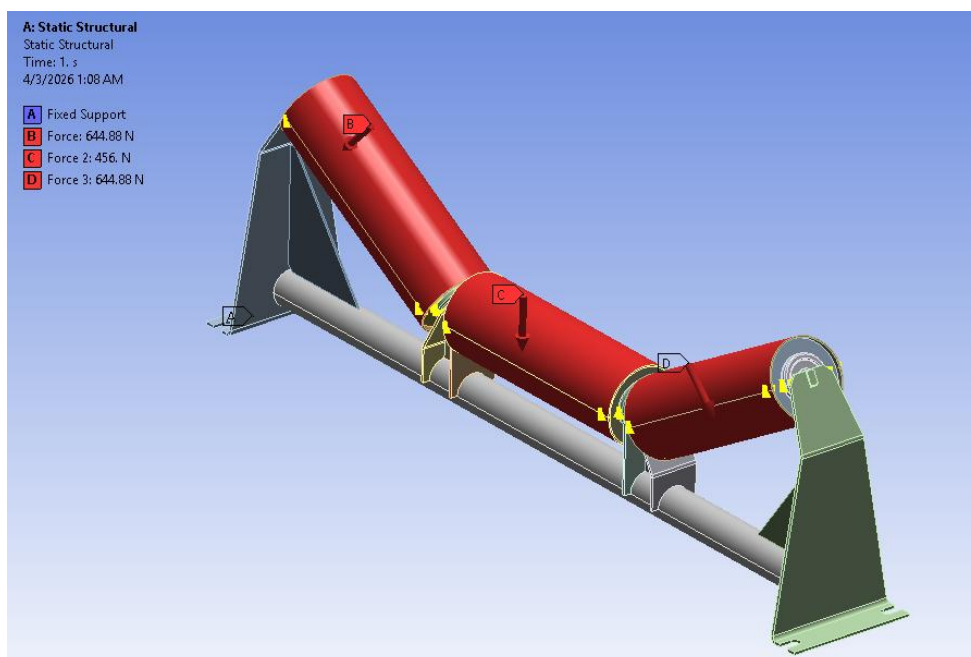


Рисунок 4 – Розрахункова схема роликотопори з умовами навантаження в ANSYS

Умови закріплення (Fixed Support, позначка А на рис. 4): роликоопора жорстко зафіксована за нижніми поверхнями кронштейнів-стійок (підшви, якими вона приварюється до поставу конвеєра). У цих зонах усі шість ступенів свободи (три переміщення та три повороти) дорівнюють нулю.

Прикладені сили: вертикально вниз (у напрямку дії сили тяжіння) до робочих поверхонь трьох роликів прикладено погонне навантаження, що відтворює тиск стрічки з вугіллям. Сумарне навантаження на роликоопору становить 1745,76 Н і розподіляється між роликами наступним чином: на центральний (горизонтальний) ролик – $Force\ C = 456,0\text{ Н}$, на кожен з двох бічних роликів – $Force\ D = 644,88\text{ Н}$. Значення сил отримані з параметричного розрахунку об'єму та маси вугілля, що припадає на одну роликоопору при ширині стрічки 400 мм та продуктивності 70 т/год.

Матеріал конструкції: сталь 38Х2МЮА з характеристиками – модуль пружності $E = 2,12 \cdot 10^5\text{ МПа}$, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,3$, межа текучості $\sigma_t = 835\text{ МПа}$. Скінченно-елементна сітка побудована з тетраедричних елементів зі згущенням у зонах концентрації напружень – переходах кронштейн-траверса та зонах кріплення П-подібних скоб.

Розрахункова схема є ідентичною як для базової, так і для модернізованої конструкції – відрізняється лише геометрія моделі (наявність П-подібних скоб). Це дозволяє провести коректне порівняння двох варіантів роликоопор за однакових експлуатаційних умов.

Результати розрахунків немодернізованої роликоопори показано на рис. 5–7.

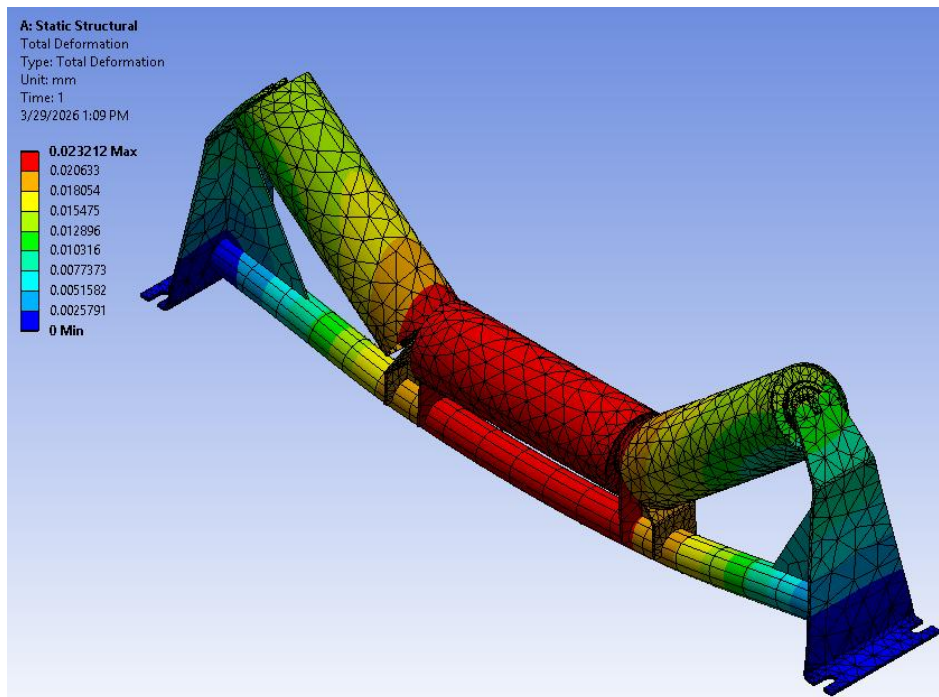


Рисунок 5 – Розподіл загальних переміщень немодернізованої роликоопори, мм

Максимальна сумарна деформація немодернізованої роликоопори склала 0,0232 мм. Найбільші переміщення спостерігаються на середньому ролику, що пояснюється концентрацією основного навантаження в центральній зоні конструкції.

Максимальні еквівалентні напруження за Мізесом склали $\sigma = 24,049\text{ МПа}$ та зосереджені у місцях кріплення кронштейнів-стійок до траверси. Мінімальні напруження спостерігаються на основній частині траверси та бічних поверхнях роликів.

Значення еквівалентних деформацій знаходяться в межах пружної зони роботи матеріалу, що свідчить про достатню жорсткість конструкції. Після зняття навантаження роликоопора повертається до початкової форми без залишкових пластичних деформацій.

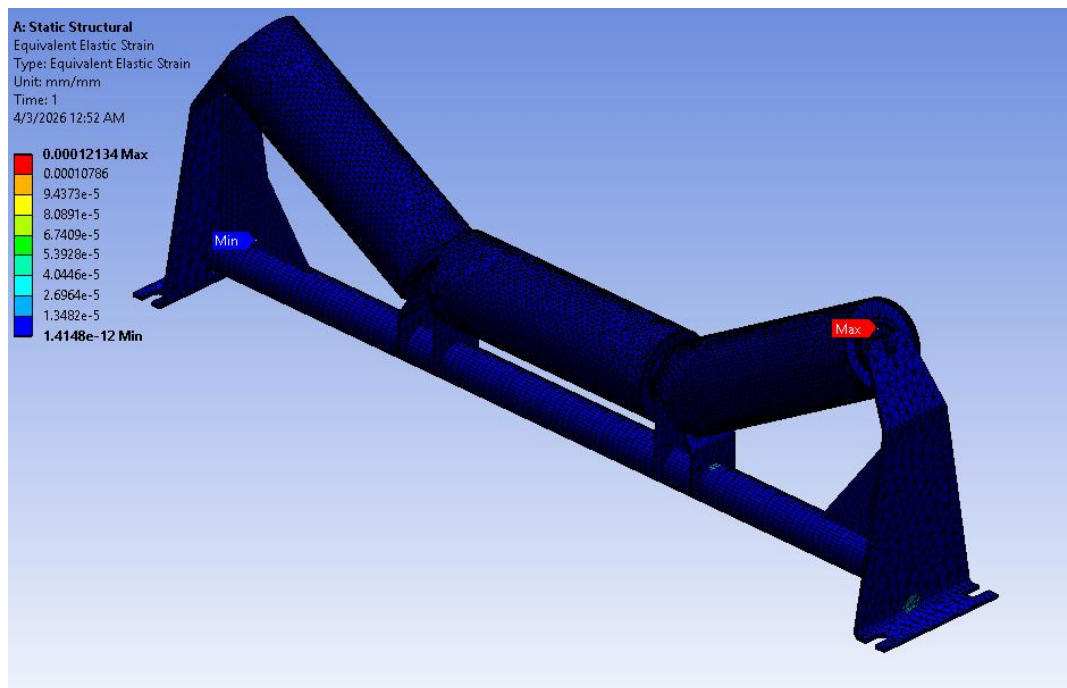


Рисунок 6 – Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом немодернізованої роликоопори, МПа

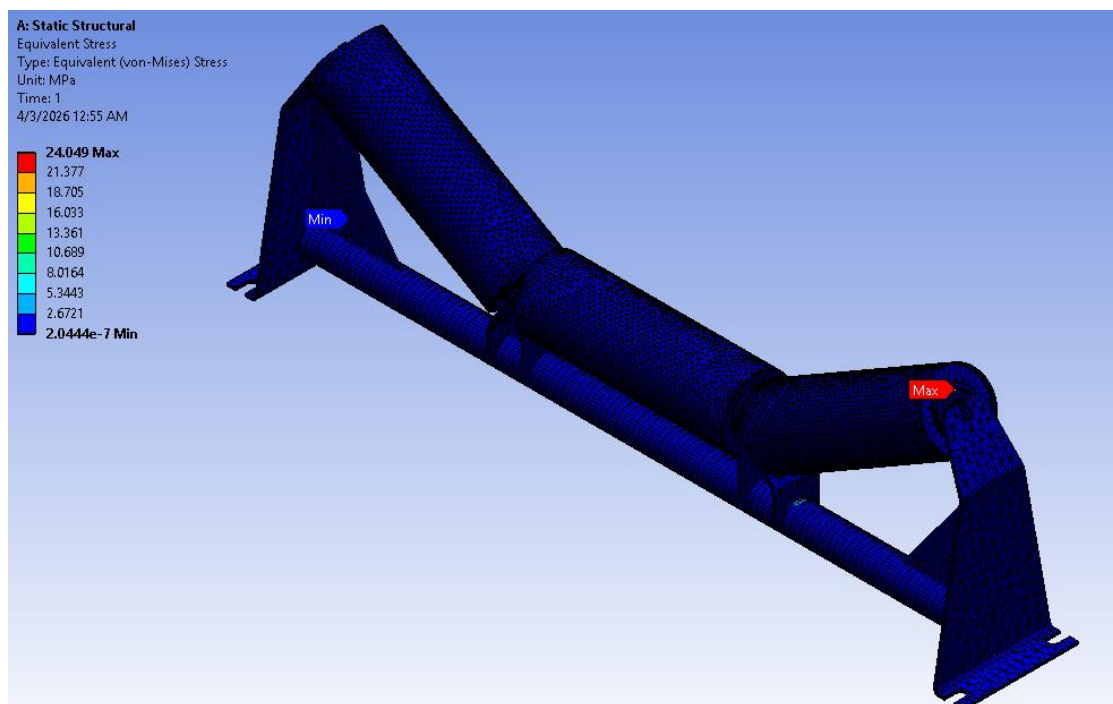


Рисунок 7 – Розподіл еквівалентних пружних деформацій немодернізованої роликоопори, мм/мм

Деформації знаходяться в межах пружної зони матеріалу – після зняття навантаження конструкція повертається до початкової форми без залишкових деформацій. Коефіцієнт запасу міцності $n = 34,7$ значно перевищує допустимий, проте нерівномірний розподіл напружень вказує на концентратори у критичних вузлах.

Результати розрахунків модернізованої роликоопори показано на рис. 8–10.

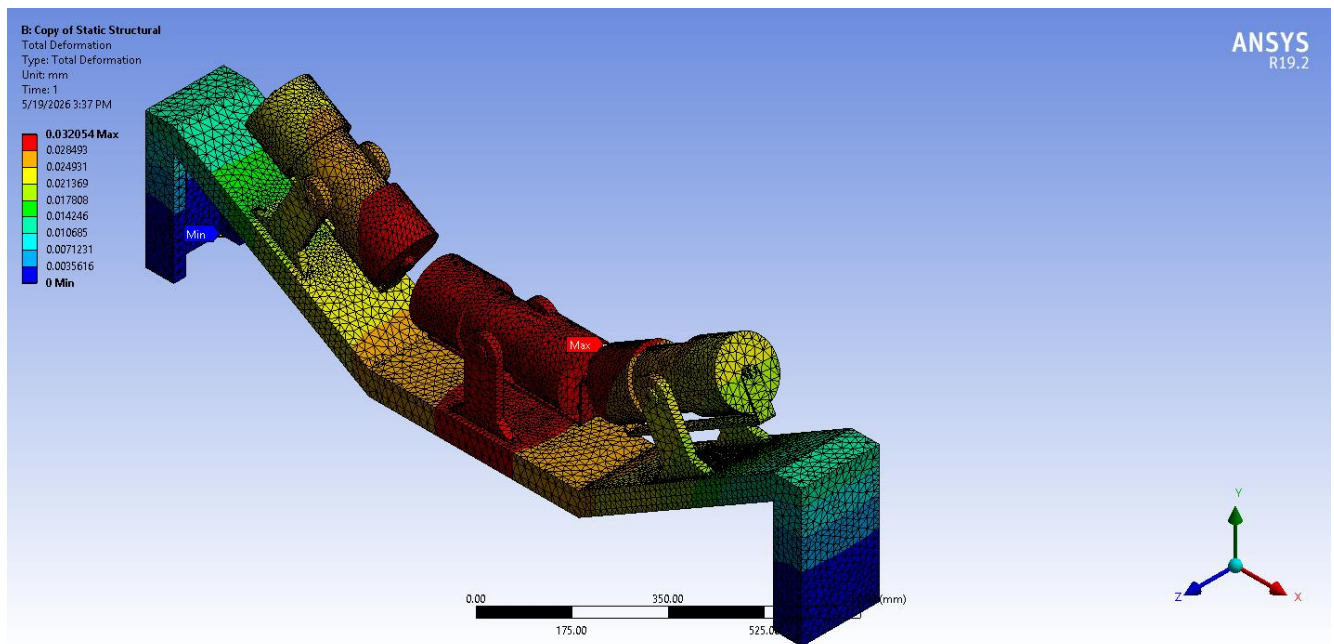


Рисунок 8 – Розподіл загальних переміщень модернізованої роlikоопори, мм

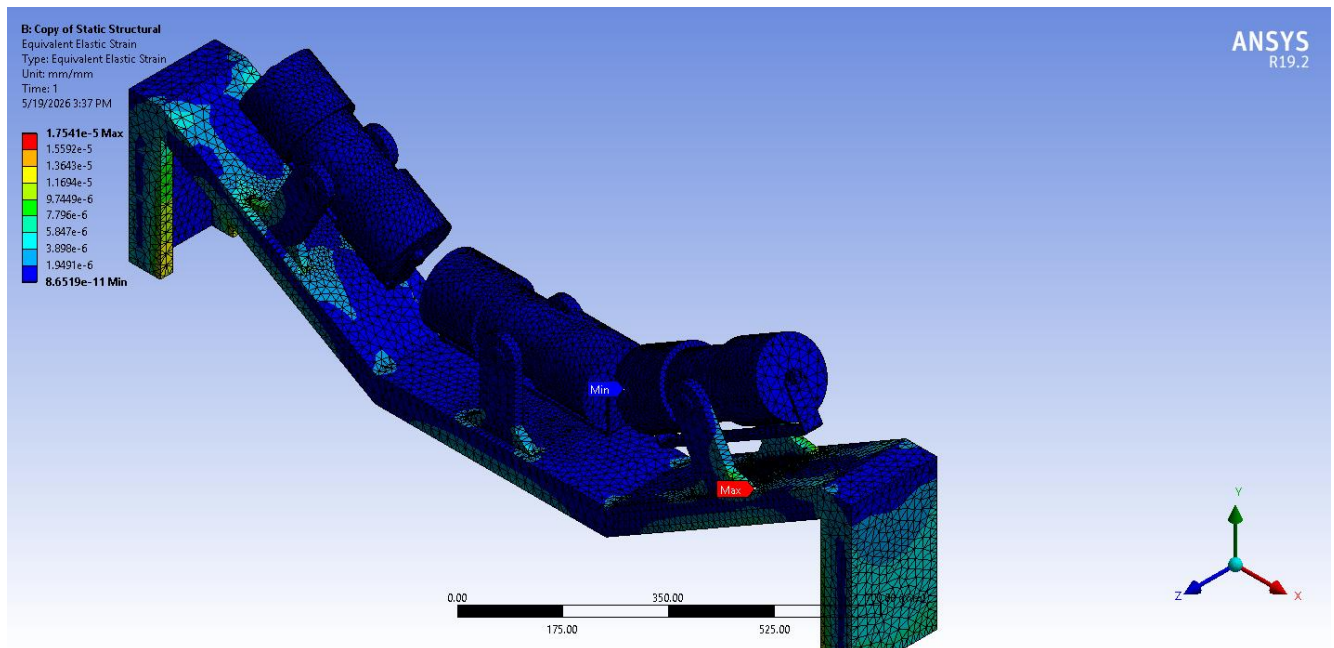


Рисунок 9 – Розподіл еквівалентних пружних деформацій модернізованої роlikоопори, мм/мм

Максимальна сумарна деформація модернізованої роlikоопори склала 0,0130 мм. Завдяки введенню П-подібних скоб, що жорстко з'єднують кронштейни-стійки зверху, навантаження розподіляється більш рівномірно, що зменшує локальні деформації конструкції.

Деформації модернізованої конструкції залишаються в межах пружної зони матеріалу. Рівномірне поле деформацій підтверджує ефективнішу передачу навантаження через нові конструктивні елементи – П-подібні скоби.

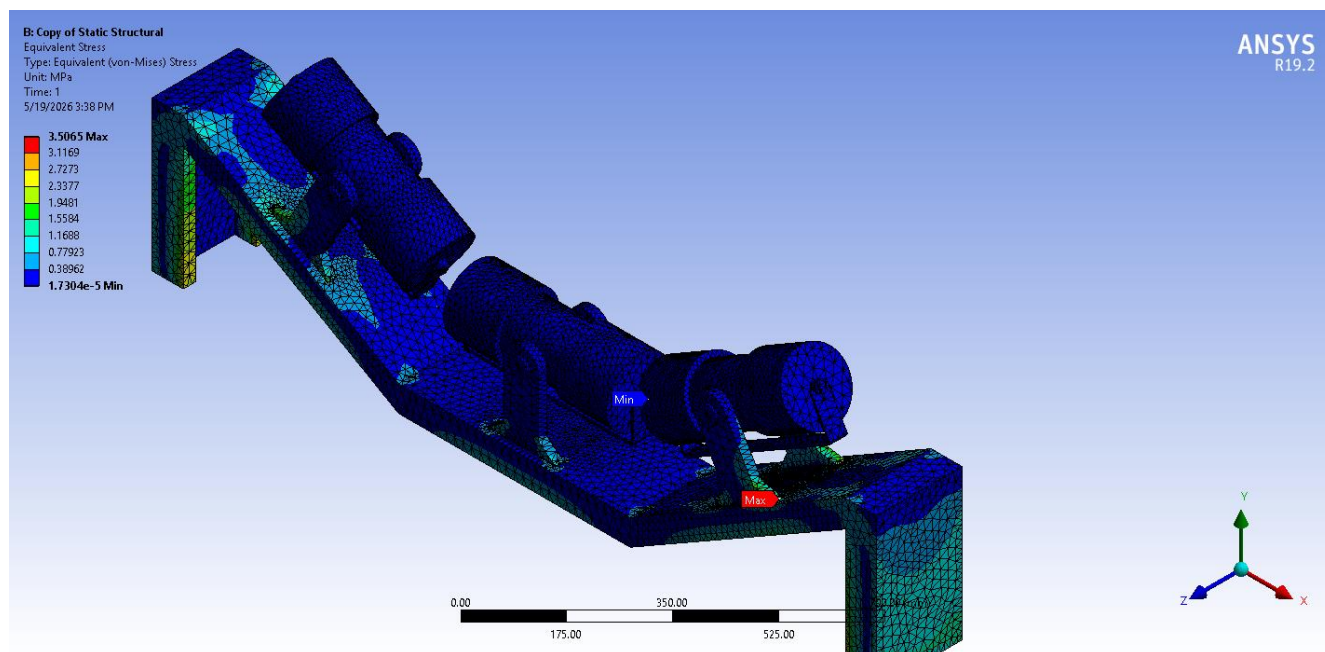


Рисунок 10 – Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом модернізованої роликоопори, МПа

Максимальні еквівалентні напруження модернізованої конструкції склали $\sigma = 3,5$ МПа – зниження на 85,4% порівняно з базовою. Це пояснюється тим, що П-подібні скоби перерозподіляють ударні навантаження, виключаючи їх концентрацію у вузлах кріплення.

Максимальні напруження $\sigma = 3,5$ МПа – зниження на 85,4% порівняно з базовою. П-подібні скоби перерозподіляють ударні навантаження. Коефіцієнт запасу міцності зріс у 6,9 рази (з 34,7 до 238,6), що свідчить про суттєве підвищення надійності модернізованого вузла.

Висновки. Запропонована модернізація дозволяє підвищити надійність роботи конвеєра шляхом усунення ударної взаємодії роликів із поставом. Це сприяє збільшенню терміну експлуатації обладнання при роботі зі складними вантажами.

Перелік посилань

1. О. Л. Сокольський, О. Є. Колосов. Пакувальне обладнання. Практикум: навч. посіб. для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050502 «Інженерна механіка», програмою професійного спрямування «Машини і технологія пакування»; спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 15 с.
2. Роликоопора стрічкового конвеєра : пат. 126108 U Україна / Ю. М. Гузенко, А. О. Куєвда ; № u 2017 12162 ; заявл. 11.12.2017 ; опубл. 11.06.2018, Бюл. № 11. 4 с заяв. 2017-06-07; публ. 2017-12-11.

Co-extrusion Head for the Production of Double-Layer Pipes with Enhanced Interlayer Adhesion

Dunin K. D., stud., Ratushynskiy I.I., stud., Hondliakh O. V., DScTech, prof.
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv

This paper presents a design of a co-extrusion head that addresses the issue of delamination in double-layer pipes by creating a mechanical interlocking connection between the inner and outer layers directly during the forming process.

Keywords: co-extrusion, double-layer pipe, adhesion, mechanical interlocking, forming head, polymers

Introduction. In the production of double-layer pipes from dissimilar materials, the problem of insufficient adhesion at the interlayer interface often arises. Standard extrusion methods do not provide a reliable bond, which leads to delamination of the product during cooling or operation. This issue is particularly acute when using recycled raw materials or materials with differing physicochemical properties.

The proposed design of the co-extrusion head (Fig. 1) is based on creating a structure of mutual «biting» of the layers. The main components of the device are: The adapter sleeve (1) and the distribution plate (2), which provide the melt supply for the inner layer. The interlocking mold (3), which is the key element of the modernization. The compression sleeve (4) and the outer die (5), which form the outer profile of the pipe [1].

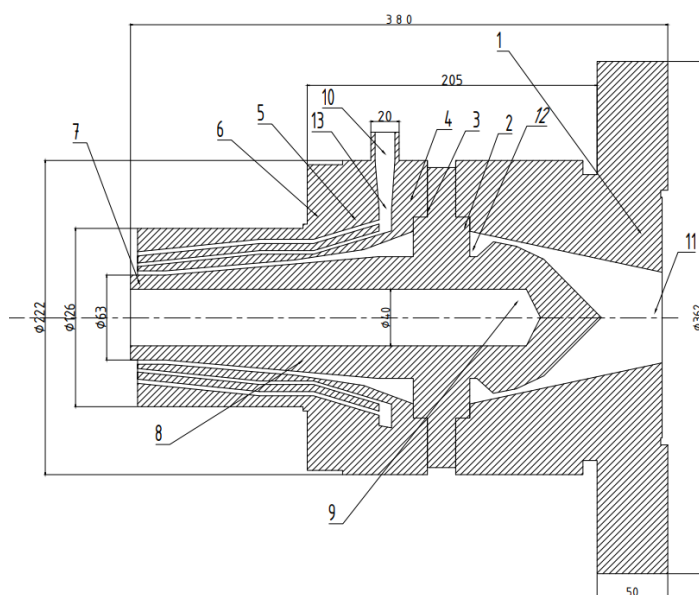


Figure 1 – Schematic representation of the extruder head for double-layer pipes: 1 – adapter sleeve; 2 – distribution plate; 3 – interlocking mold; 4 – compression sleeve; 5 – outer die; 6 – die adjustment screw; 7 – mandrel; 8 – fixed mandrel; 9 – lock nut; 10 – support plate; 11 – inlet channel; 12 – distribution holes; 13 – auxiliary extruder channel

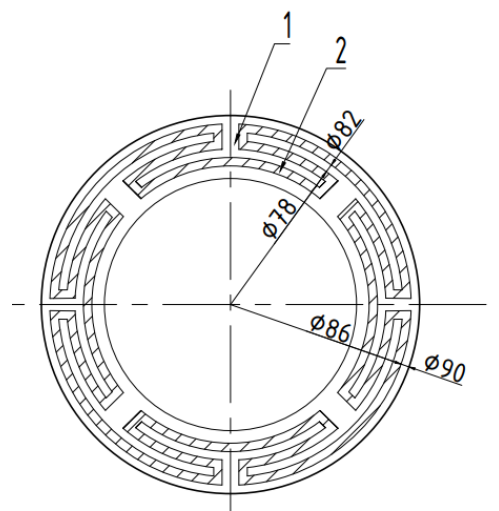


Figure 2 – Schematic representation of the geometry of the channels for the mechanical connection of pipe layers: 1 – groove; 2 – protrusion

A feature of the geometry is that the gap between the interlocking mold (3) and the fixed mandrel (8) gradually contracts, forming a specific relief on the surface of the inner layer before its contact with the melt of the outer layer.

The forming process occurs in the following way.

The melt of the inner layer passes through the distribution plate (2) into the zone of the interlocking mold (3). Simultaneously, the melt of the outer layer is supplied through the space between the compression sleeve (4) and the mold (3). At the contact boundary of the two flows, a "mechanical lock" structure is created, where the layers penetrate into each other (Fig. 2).

The implementation of the proposed modernization of the co-extrusion head allows for a radical change in the physics of the polymer layer connection process, which yields the following results:

The introduction of a guide sleeve with a special geometry of grooves transforms the interlayer interface from a traditionally flat to a complex relief structure. Thanks to the longitudinal recesses and protrusions, the actual area of the contact surface, where adhesive interaction occurs, increases by 60%–85% compared to standard forming heads. This provides significantly higher tensile and shear strength between the layers [2].

The main achievement is the creation of a mechanical interlocking effect. Since the melt of the outer layer under pressure fills the T-shaped cavities in the still hot inner layer, an inseparable "lock" is formed after cooling. This completely eliminates the risk of pipe delamination, which often occurs due to different thermal shrinkage of materials or during mechanical bending of the product during installation [2].

From a practical point of view, such technology allows for the successful combination of materials that have low chemical affinity, for example, using a virgin polymer for the outer protective layer and cheap recycled raw materials for the inner one. This ensures high reliability of the finished system without the need to introduce additional adhesive layers into the design, which significantly simplifies the technological scheme and reduces the production cost [2].

3D modeling. The co-extrusion head with a mechanical interlocking mechanism was created in the SolidWorks environment (Fig. 3-4).

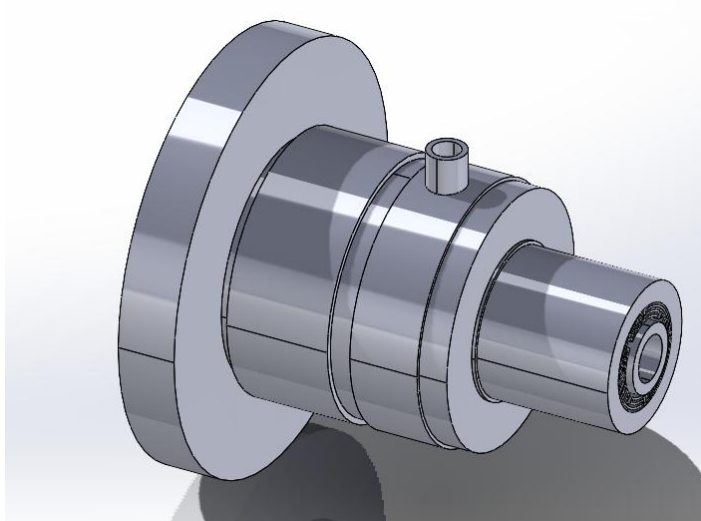


Figure 3 – Co-extrusion head general view

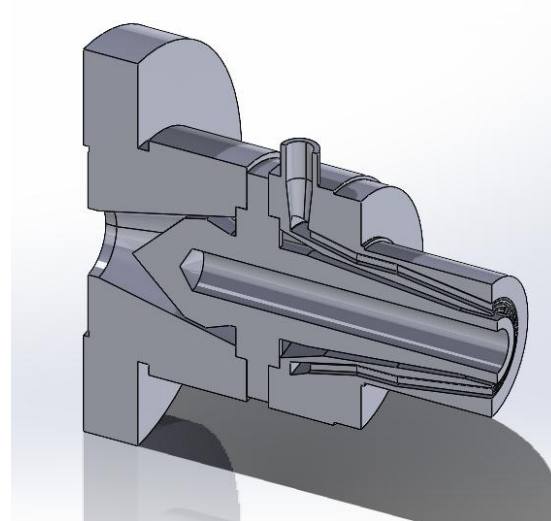


Figure 4 – Co-extrusion head cross-section

Numerical modeling. Numerical modeling was performed in the Ansys environment. Material of the extrusion head is 38Kh2MYuA steel. The choice of 38Kh2MYuA steel is due to the need to ensure maximum durability of the extrusion head. This allows for the guarantee of the stability of the geometric dimensions of the parts under high contact loads, abrasive influence of composite materials, and increased operating temperatures.

Used the Remote Displacement fixture, which rigidly secures the extruder head, but allows the material to expand (Fig. 5).

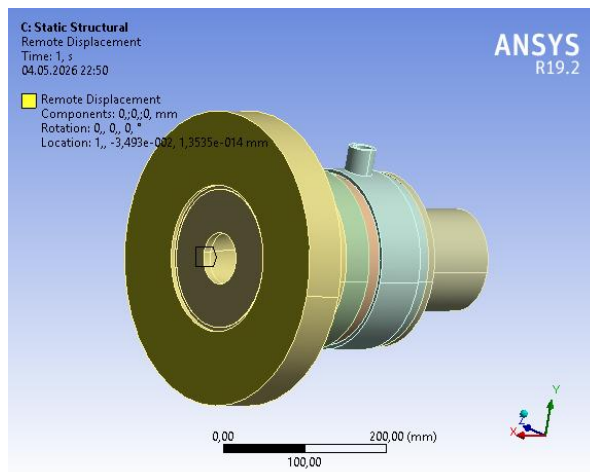


Figure 5 – Remote Displacement fixture

Inside the head, Pressure loads were set in three zones. Load values (Fig. 6):

- Pressure A = 25 MPa (Inlet opening);
- Pressure B = 20 MPa (Middle part);
- Pressure C = 15 MPa (Mandrel).

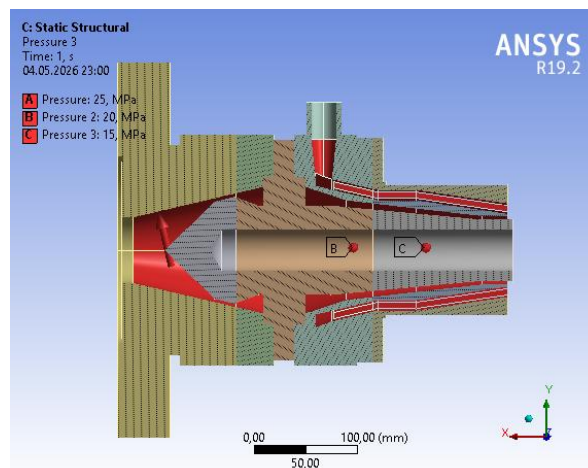


Figure 6 - Internal loads

The material temperature is 175 °...180 °C. This temperature is optimal for PVC, at which the material does not lose its properties (Fig. 7).

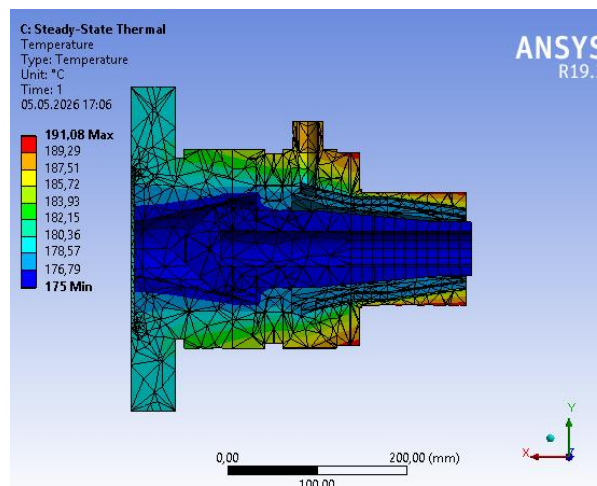


Figure 7 - Temperature regime

At these temperatures and loads, the maximum equivalent von Mises stresses are $\sigma_{max} = 275$ MPa, and the safety factor is $n = 3.03$ (Fig. 8-9).

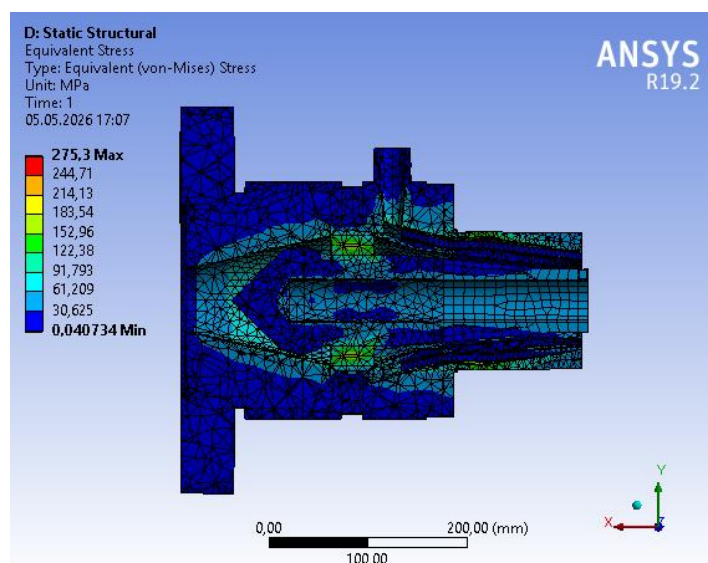


Figure 8 – Maximum equivalent von Mises stresses

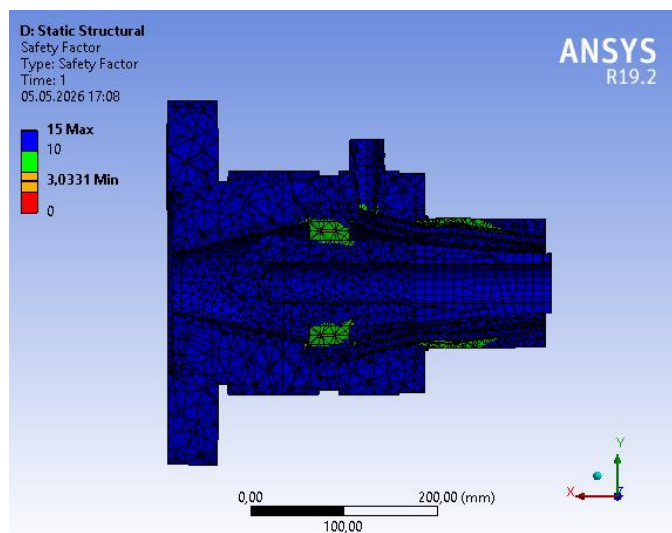


Figure 9 – Safety factor

Conclusion. The application of the proposed co-extrusion head with a mechanical interlocking mechanism significantly improves the quality of double-layer pipes. This technology is promising for the production of multi-layer systems where high reliability of interlayer bonding is required without the use of additional adhesives. Calculations showed that the maximum stresses in the body of the modernized head, $\sigma_{max} = 275$ MPa, do not exceed the permissible values for 38Kh2MYuA steel. The resulting safety factor $n = 3.03$ confirms the reliability of the design and its ability to operate for extended periods under pressures up to 25 MPa and operating temperatures up to 200°C. Therefore, the modernized head is functional.

List of References

1. Zeng Li; Zhang Zheng; Zhang Lijuan; Wang Ying; Chen Siyuan URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/091502837/publication/CN118219528A?q=CN%20118219528>
2. Sivetsky, V. I., Kurylenko, V. M., & Ivitsky, I. I. (2018). Technological Equipment for the Production of Building and Polymer Products - 2. Equipment for Polymer Processing. Kyiv. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/4cd4fd11-cd29-45be-8aaf-2fa1e2b5098b/content>

Млин трубний з модернізацією розвантажувальної частини

Сопуліс Н.Е., студ., Демидик О.І., студ., Шеремет Я.В., Борщик С.О., ст.викл.

Національний технічний університет України

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

У роботі описано розвантажувальну частину барабанного млина, модернізовану шляхом виконання кожного елеватора у вигляді ковша з дугоподібною донною лінією, де одна бічна стінка примикає до розвантажувальних ґрат під кутом не менше 30° , а канали, що з'єднують елеватори з розвантажувальним патрубком, виконані у вигляді коробів, які поєднують два суміжних елеватори, відповідно до патенту UA 72434 U, а також числове моделювання напружено-деформованого стану розвантажувальної частини в системі ANSYS Workbench.

Ключові слова: розвантажувальна частина, модернізація, елеватор, ANSYS.

Трубний млин є важливим обладнанням, яке використовується для дрібного помелу матеріалів у таких промисловостях, як цементна, гірничорудна, металургійна та хімічна. Проте, основна конструкція розвантажувальної частини має деякі недоліки. Наприклад, повернення подрібненого матеріалу з розвантажувальної камери назад у камеру для помелу через розвантажувальні ґрати зменшує продуктивність і збільшує витрати енергії. Крім того, звичайна форма елеваторів не завжди дозволяє ефективно транспортувати матеріал до розвантажувального патрубка [1].

Об'єктом дослідження є трубний млин з діаметром барабана $D = 4,0$ м, довжиною $L = 13,5$ м, робочим об'ємом $V = 150$ м³. Як перероблюваний матеріал використовується цементний клінкер. Основні технічні характеристики базової машини становлять: продуктивність 120 т/год, потужність двигуна 3200 кВт, частота обертання 16,2 об/хв, маса кульового завантаження 210 т.

За результатами аналізу патентної літератури було обрано технічне рішення, наведене в патенті UA 72434 U [2]. Воно передбачає, що кожен елеватор виконаний у вигляді ковша з дугоподібною донною лінією, одна бічна стінка якого примикає верхньою крайкою до розвантажувальних ґрат і нахилена до їх площини під кутом не менше 30° , при цьому канали, які з'єднують елеватори з розвантажувальним патрубком, виконані у вигляді коробів, що поєднують два суміжних елеватори (Рис.1, а).

Розвантажувальний пристрій барабанного млина працює наступним чином. Здрібнений матеріал 5 з камери здрібнювання надходить у розвантажувальну камеру через випускні отвори 6 розвантажувальних ґрат 1 (Рис.1, б). Матеріал 5, що надійшов у розвантажувальну частину, підхоплюється елеваторами 2, які установлені безпосередньо під випускними отворами 6 розвантажувальних ґрат 1 і по пов'язаних з ними похилих бічних стінках елеваторів 2 переміщається до їхньої донної частини. При цьому матеріал 5 відокремлюється від розвантажувальних ґрат 1 бічними стінками елеваторів 2, що установлені під кутом не менше 30° до площини розвантажувальних ґрат 1 і не створюють перешкоди для надходження здрібненого матеріалу 5 у розвантажувальну камеру. Досягши при підйомі елеватора 2 рівня, що перевищує рівень розвантажувального патрубка 4, матеріал 5 по каналах 3 переміщається в розвантажувальний патрубок 4 [3].

Судячи з опису конструкції і роботи розвантажувального пристрою барабанного млина, за рахунок відмітних ознак корисної моделі забезпечується переміщення здрібненого матеріалу 5 в елеватор 2 безпосередньо після проходження їм випускних отворів 6 і відділення його від розвантажувальних ґрат 1, що виключає повернення здрібненого матеріалу з розвантажувальної камери в камеру здрібнювання, а, отже дозволяє підвищити продуктивність розвантаження [4].

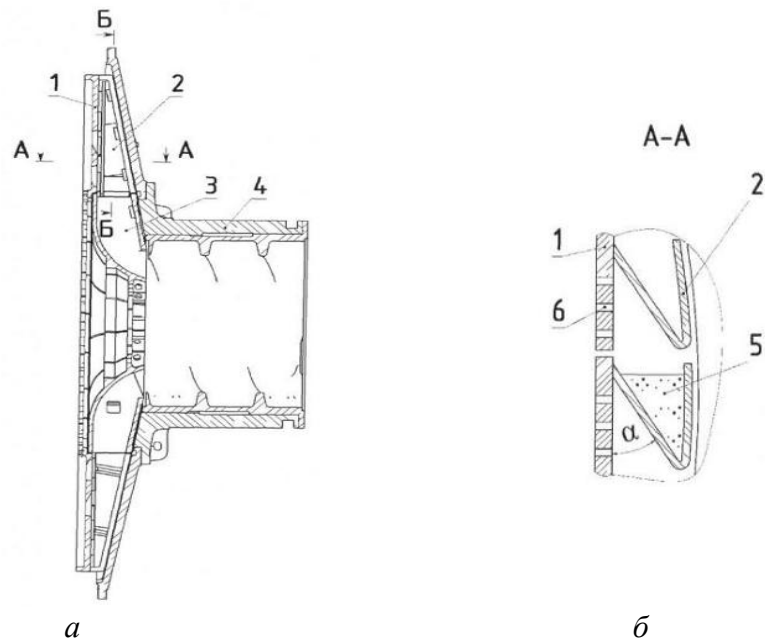


Рисунок 1 – Розвантажувальний пристрій: *а* – схема, основний розріз; *б* – переріз А-А:
 1 – розвантажувальні ґрати; 2 – елеватор; 3 – канали; 4 – розвантажувальний патрубок;
 5 – матеріал; 6 – випускні отвори

3D-моделювання базової та модернізованої розвантажувальної частини було виконано в середовищі SolidWorks (рис. 2).

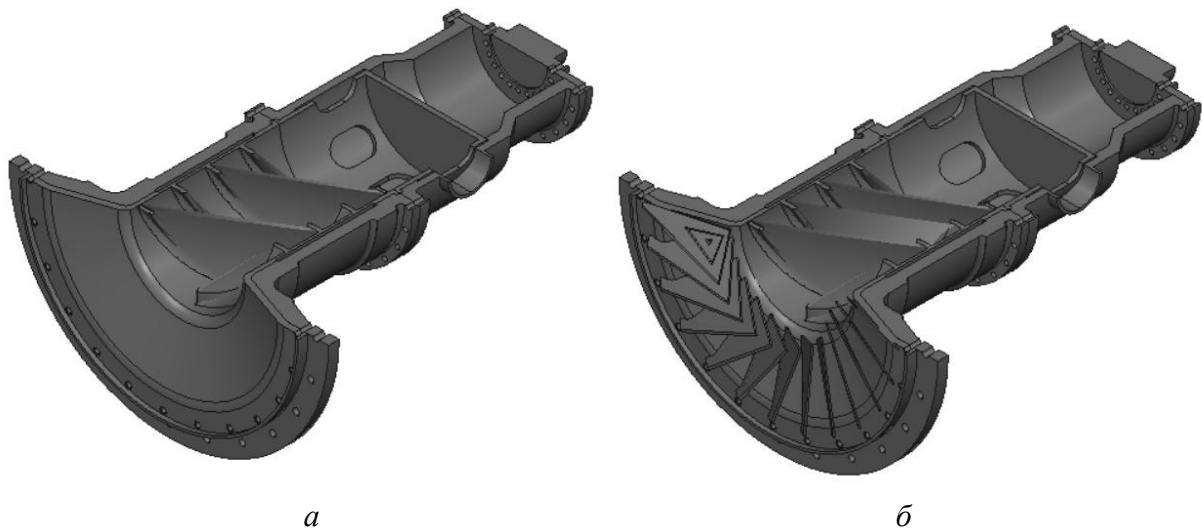
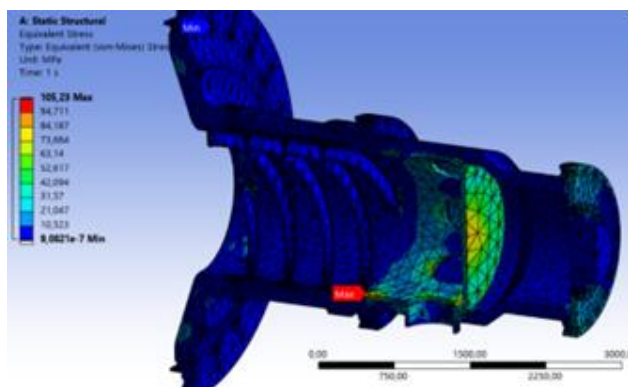
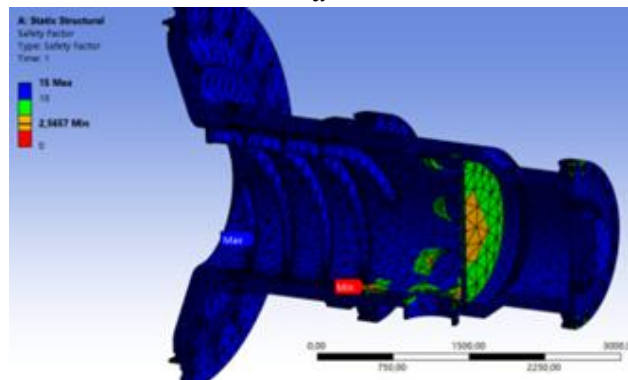


Рисунок 2 – 3D-модель розвантажувальної частини: *а* – базова конструкція;
б – модернізована з ковшоподібними елеваторами та похилою стінкою

Числове моделювання напружено-деформованого стану було здійснено в програмному середовищі ANSYS Workbench у модулі Static Structural, базова модель рис. 3 та її модифікована версія – рис. 4 [5].

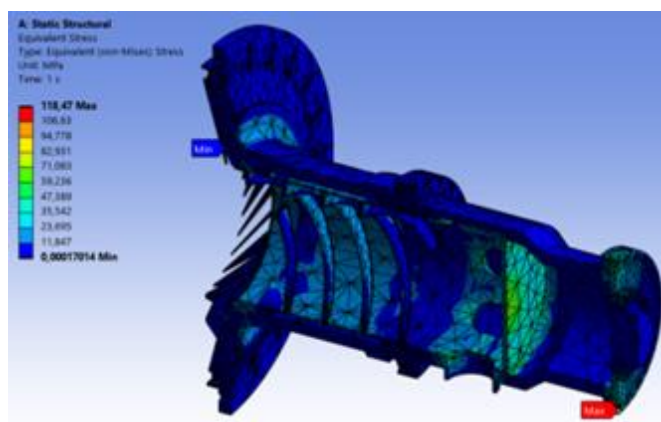


a

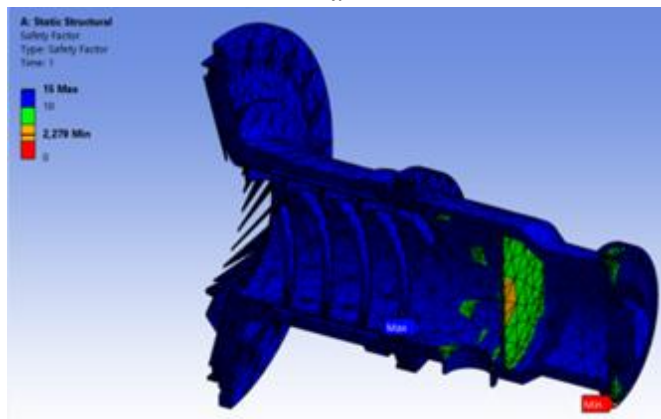


б

Рисунок 3 – Результати числового моделювання базової конструкції: *a* – еквівалентні напруження за Мізесом, МПа, *б* – коефіцієнт запасу міцності



a



б

Рисунок 4 – Результати числового моделювання модернізованої конструкції: *a* – еквівалентні напруження за Мізесом, МПа, *б* – коефіцієнт запасу міцності

Розрахунок проводився за умови дії крутного моменту $T = 2115,3 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

Для матеріалу були задані такі механічні характеристики:

модуль пружності $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,28$, густина $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$.

Отримані результати числового моделювання подано в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняльні результати числового моделювання розвантажувальної частини

Параметр	Позначення	Базова конструкція	Модернізована конструкція	Зміна, %
Загальна деформація	ϵ	1,6311	1,3952	-14,46%
Еквівалентні напруження	σ	105,23	118,47	+12,58%
Запас міцності	n	2,566	2,279	-11,18%

Еквівалентні напруження у базовій розвантажувальній частині складають $\sigma = 105,23 \text{ МПа}$, що не перевищують допустимих (270 МПа). У модернізованій конструкції еквівалентні напруження збільшуються до 118,23 МПа (+12,58%), запас міцності знижується до 2,279 (-11,18%). Загальна деформація знижується з 1,6311 до 1,3952 мм (-14,46%).

Висновки. Модернізацію розвантажувальної частини трубного млина виконано згідно з технічним рішенням, запропонованим у патенті UA 72434 U. За результатами числового моделювання в ANSYS Workbench встановлено, що модернізована конструкція дає змогу знизити загальну деформацію на -14,46%, при цьому знижується запас міцності на -11,18%, та еквівалентні напруження збільшуються на 12,58%. Відмінні ознаки модернізованої конструкції забезпечуть безпосереднє переміщення здрібненого матеріалу з випускних отворів в елеватор, виключаючи його повернення в камеру здрібнювання, що підвищить продуктивність розвантаження.

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: Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66408>
2. Пат. 72434 Україна, МПК В02С 17/18. Розвантажувальний пристрій барабанного млина / Мартиненко С. Л., Петров А. Г., Токарев О. О., Вовненко Є. М. ; заявник і патентовласник Публічне акціонерне товариство "НОВОКРАМАТОРСЬКИЙ МАШИНОБУДІВНИЙ ЗАВОД". – № u201113082 ; заявл. 07.11.2011 ; опубл. 27.08.2012, Бюл. № 16.
3. Сидоренко А.М., Ковальчук Т.О. (2022). Модернізація конструкції барабанних млинів для підвищення їх енергоефективності. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Машинобудування.
4. Коваль П.С., Шульга А.М. (2020). Оптимізація конструкції розвантажувального пристрою барабанного млина з урахуванням динаміки руху матеріалу. // Вісник Тернопільського національного технічного університету.
5. Гончаренко Р.І. (2021). Моделювання процесу подрібнення в барабанних млинах із використанням програмного забезпечення ANSYS. // Вісник ХНУМГ ім. Бекетова. Серія: Технічні науки, №8.

Підвищення теплопровідності дорнотримача формуючої головки для екструзії труб

Єлінов М.М., студ., Бернадін В.М. студ., Гур'єва Л.Н., ас.

Національний технічний університет України

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

Запропоновано конструкцію дорнотримача, виконаного у формі товстостінного кільця з чотирма стрижнями, які утримують його внутрішню частину. У стрижнях передбачені глухі отвори зі сторони зовнішньої поверхні тримача, в яких розміщуються пластини, виконані з мідного сплаву, теплопровідність якого набагато більша за теплопровідність матеріалу дорнотримача. Така конструкція забезпечує нагрівання стрижнів дорнотримача до температури розплаву, що призводить до усунення можливості утворення спайв у готовому виробі, які виникають за рахунок більш низької температури на поверхні стрижнів, з якою контактує полімер.

Ключові слова: екструзія, формуюча головка, дорнотримач, теплопровідність, порожнисті вироби.

Вступ. Розроблене технічне рішення належить до обладнання для перероблення термопластичних матеріалів, зокрема до приладів для встановлення та підтримання температурного режиму в екструзійній головці під час екструзії [1-5], і може бути використане в технологічних лініях для виробництва порожнистих виробів.

Найближчою за конструкцією до запропонованого технічного рішення є екструзійна головка для формування порожнистого виробу, що містить розташований на його зовнішній поверхні щонайменше один нагрівник, а також розміщений у порожнині корпусу дорн, з'єднаний з корпусом за допомогою дорнотримача [6].

Основний матеріал. Запропонована конструкція вирішує задачу підвищення якості кінцевого порожнистого виробу шляхом збільшення теплопровідності стрижнів дорнотримача, задля його нагрівання до температури розплаву. Така конструкція забезпечує оптимальний температурний режим, за допомогою якого досягається зменшення в'язкості прилеглих до стрижнів тримача шарів розплаву й, як наслідок, мінімізація спайності потоків полімеру після проходження ділянки тримача.

Поставлена задача вирішується шляхом виконання в дорнотримачі з боку зовнішньої поверхні щонайменше одного глухого отвору, в якому розміщується вставка, виконана з матеріалу, теплопровідність якого значно більша за теплопровідність матеріалу дорнотримача [6].

Суть запропонованого рішення пояснюється схемою, на якій зображено поздовжній розріз екструзійної головки (рис. 1).

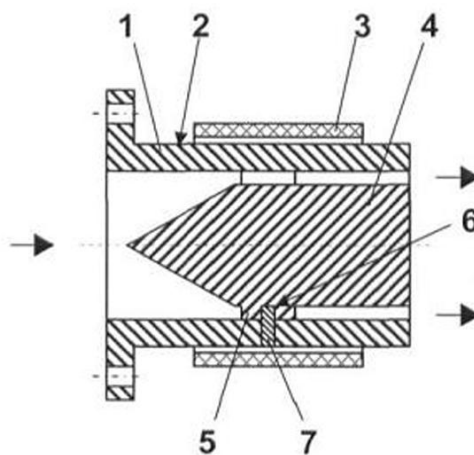


Рисунок 1 – Схема екструзійної головки з модернізованим дорнотримачем

Екструзійна головка для формування порожнистого виробу містить корпус з наскрізним отвором 1, розташований на зовнішній поверхні 2 щонайменше один нагрівник 3, а також розміщений всередині дорн 4, який утримується дорнотримачем 5. У дорнотримачі 5 з боку зовнішньої поверхні 2 корпусу виконано щонайменше один глухий отвір 6 з розміщеною в ньому вставкою 7, виконаною з матеріалу з високою теплопровідністю.

Головка працює наступним чином. Розплав перероблюваного матеріалу просувається у внутрішній частині вузла, між стінкою порожнини корпусу 1 і поверхнею дорна 4, при цьому контактуючи з дорнотримачем 5 і оминаючи його стрижні. Нагрівник 3 розповсюджує тепловий потік в радіальному напрямку вглиб корпусу 1. Наявність у дорнотримачі 5 однієї або декількох вставок 7, забезпечує більш ефективне підведення теплового потоку від нагрівника 3 до дорнотримача 5.

Для підтвердження ефективності пропонуваного рішення, було проведено тепловий розрахунок базової та модернізованої конструкції дорнотримача у ПЗ “ANSYS” в середовищі “Ansys Mechanical” за допомогою системи “Thermal Transient”. Для підтвердження ефективності модернізації потрібно провести розрахунок для базової та модернізованої конструкції. Для цього імпортуємо 3D-модель у системну компоненту “Geometry” (рис. 2 а, б).

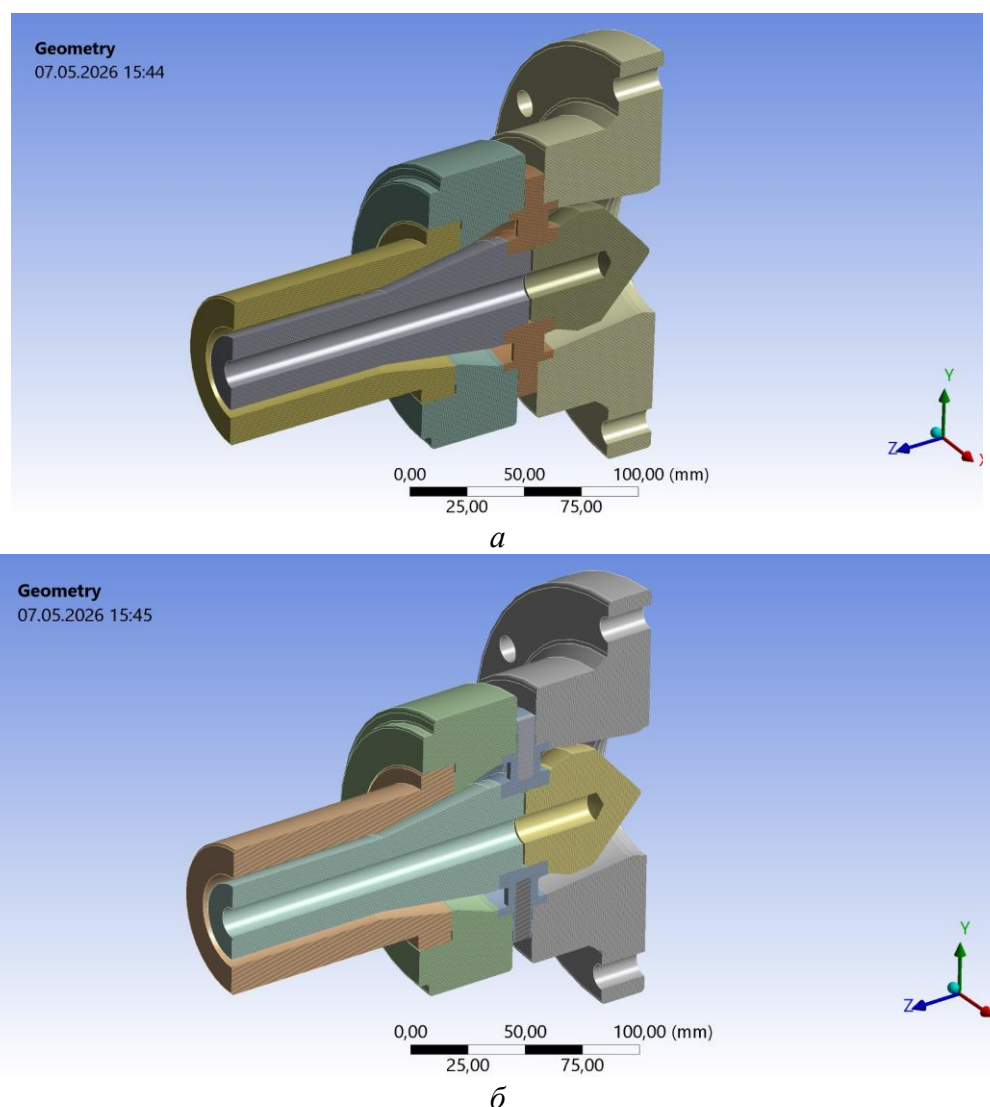


Рисунок 2 – 3D-модель формуючої головки у розрізі: а – базова; б – модернізована

Для кращого розуміння того, як виглядає модернізація, її показано окремо на дорнотримачі (рис. 3).

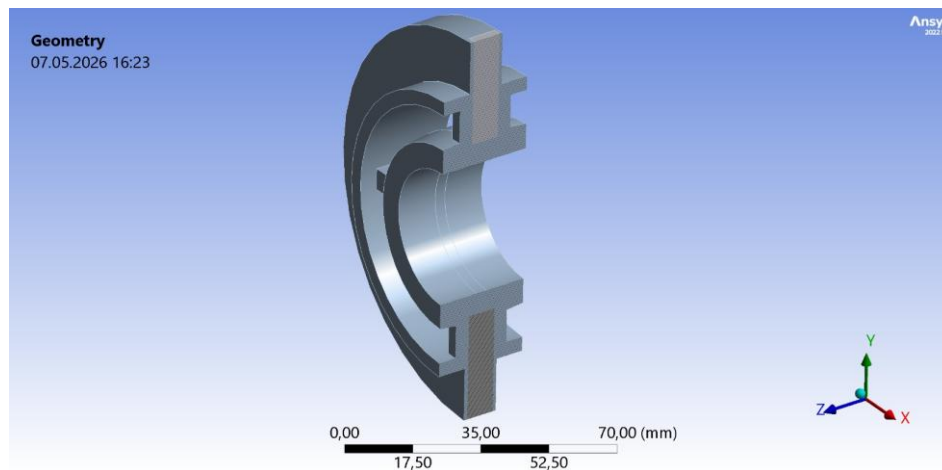


Рисунок 3 – Модернізований дорнотримач у розрізі

За матеріал вузла було прийнято сталь 38Х2МЮА з коефіцієнтом теплопровідності 33 Вт/(м*°С), а за матеріал вставок – мідний сплав С10100 з теплопровідністю 401 Вт/(м*°С).

На рис. 4 представлена сітка скінчених елементів для модернізованої конструкції. Для обох варіантів параметри сітки наступні: розмір елемента – 5 мм, порядок елементів – квадратичний.

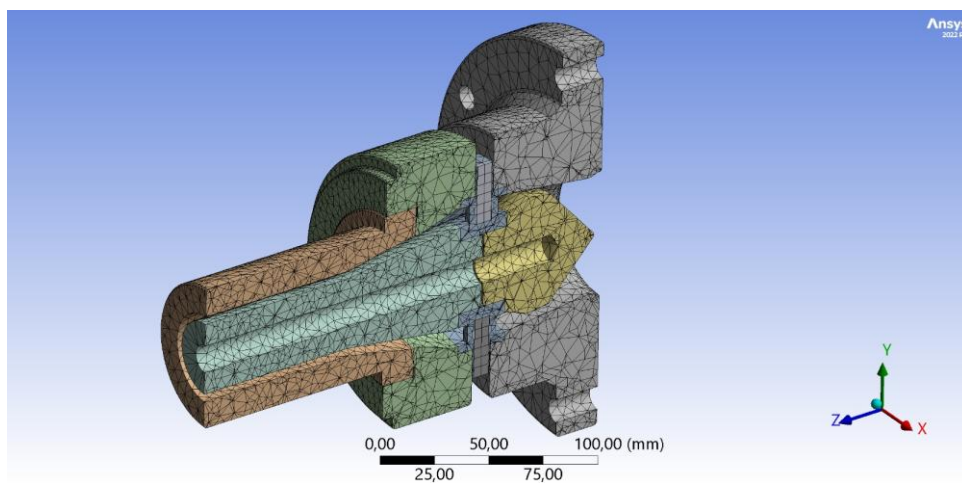


Рисунок 4 – Сітка скінчених елементів для модернізованого вузла

Далі були встановлені умови симуляції (температурні навантаження). Для імітації прогрітої нагрівачем зовнішньої поверхні головки, було використано задану температуру 182 °С (рис. 5 а). Так само було імітовано нагріті вставки в модернізованій конструкції (рис. 5 б).

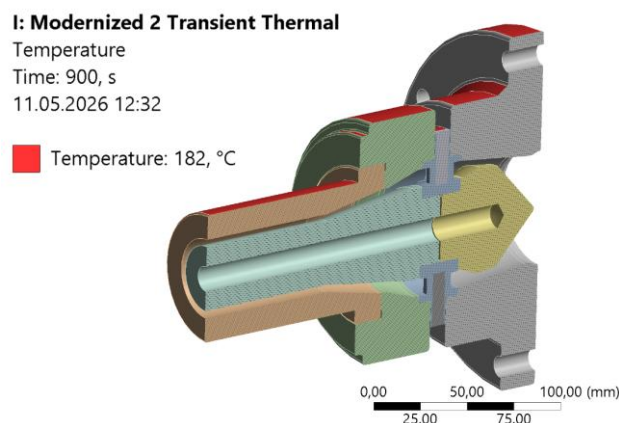


Рисунок 5 – Імітація температури нагрівників

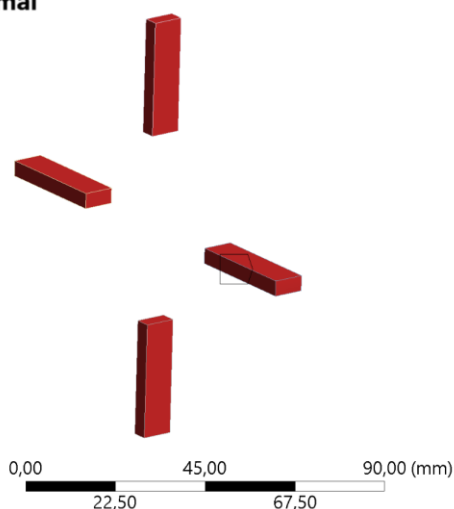
I: Modernized 2 Transient Thermal

Temperature 2

Time: 900, s

11.05.2026 12:38

Temperature 2: 182, °C



б

Рисунок 6 – Імітація температури вставок

Розрахунок проводився за умови нагрівання вузлу протягом 15 хвилин з температурою навколишнього середовища (початковою температурою) 22 °C. Параметри розрахунку наведені в табл. 1

Таблиця 1 – Параметри розрахунку “Analysis Settings” (все, що не вказано, має значення за замовчуванням)

Number Of Steps	1
Step End Time	900 s
Initial Time Step	9 s
Minimum Time Step	0,9 s
Maximum Time Step	90 s

Результати розрахунку наведено на рис. 7 та рис. 8.

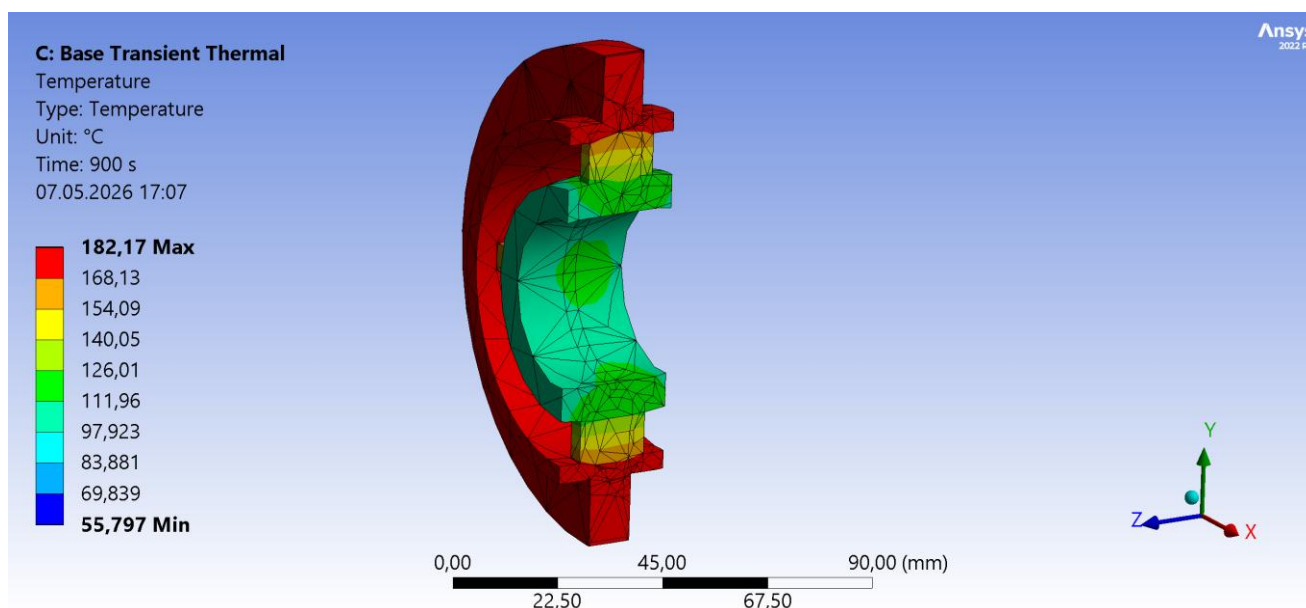


Рисунок 7 – Температурний розподіл в базовому дорнотримачі після 15 хв нагрівання

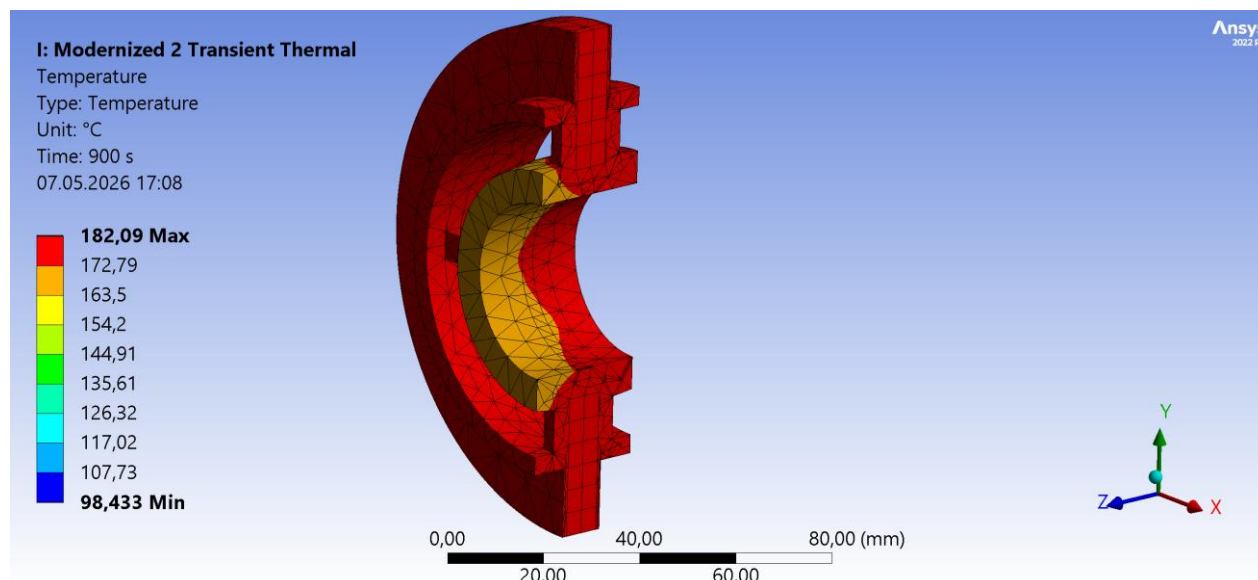


Рисунок 8 – Температурний розподіл в модернізованому дорнотримачі після 15 хв нагрівання

Висновки. Додавання в дорнотримач вставок, виконаних з мідного сплаву підвищує теплопровідність деталі, що призводить до того, що вона краще прогривається ніж немодернізована деталь за один й той самий час. Таке технічне рішення дозволить підвищити якість кінцевого виробу завдяки мінімізації температурного градієнту між дорнотримачем та розплавом.

Перелік посилань

1. Мікульонок 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>
2. 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>
3. Schenkel G. Plastics Extrusion Technology and Theory. The design and operation of screw extruders for plastics. London : Pliffe Books Ltd., 1966. 477 p.
4. Сівецький, В.І., Рябінін Д.Д., Сокольський О.Л. Особливості реологічної поведінки полімерів. // Вісник НТУУ «КПІ». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2010. № 1. С. 17-20.
5. Коваленко І. В., Малиновський В. В. Розрахунки основних процесів, машин та апаратів хімічних виробництв : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Київ : Норіта плюс, 2007. 216 с.
6. Екструзійна головка для формування порожнистого виробу : пат. 94625U Україна / І. О. Мікульонок, О. С. Письменний ; № u201405233 ; заявл. 19.05.2014 ; опубл. 25.11.2014 ; Бюл. № 22. 4 с.

Модернізація пластикаційного механізму термопластавтомата ТПА-250

Вітківська А.В., студ., Гунчар Д.О., студ., Гур'єва Л.Н., ас.

Національний технічний університет України

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

У роботі описано модернізацію пластикаційного механізму термопластавтомата ТПА-250 шляхом встановлення порожнистого шнека з плунжером і поршнем відповідно до патенту UA 100079 U, а також числове моделювання напружено-деформованого стану шнека в системі ANSYS Workbench.

Ключові слова: термопластавтомат, модернізація, шнек, плунжер, ANSYS.

Термопластавтомат (ТПА) є ключовим обладнанням, що використовується для виготовлення виробів із термопластичних матеріалів методом лиття під тиском [1]. Водночас базова конструкція ТПА-250 має певні недоліки. Зокрема, неможливість одночасного здійснення зворотного ходу шнека та набору порції розплаву призводить до помітного збільшення тривалості циклу лиття. Крім того, стандартна геометрія черв'яка не завжди забезпечує достатній рівень гомогенізації розплаву.

Об'єктом дослідження є термопластавтомат ТПА-250 з діаметром черв'яка $D = 60$ мм, $L/D = 20$, об'ємом виливки $V = 250$ см³. Як перероблюваний матеріал використовується полістирол. Основні технічні характеристики базової машини становлять: продуктивність 45 кг/год, тиск інжекції 90 МН/м², зусилля запирання 2000 кН, потужність приводу 6,4 кВт.

За результатами аналізу патентної літератури було обрано технічне рішення, наведене в патенті UA 100079 U [2]. Воно передбачає розміщення в порожнині порожнистого пластикаційного шнека плунжера з можливістю осьового переміщення, оснащення плунжера поршнем з боку завантажувального отвору матеріального циліндра, а також з'єднання гідросистеми руху плунжера з порожниною пластикаційного шнека. При цьому порожнина має ступінчасту форму, а діаметр поршня перевищує діаметр плунжера.

Робота модернізованого механізму відбувається таким чином. Під час зворотного ходу плунжера 7 у напрямку інжекційної камери 6 шнек 4 одночасно виконує пластикацію матеріалу та транспортує розплав до нагромаджувальної камери 5. У цей момент гідросистема подає робочу рідину в порожнину 6а під тиском P_1 , який є мінімальним. Після завершення набору дози гідросистема переходить на тиск інжекції P_2 , унаслідок чого поршень 8 разом із плунжером 7 переміщує розплав у напрямку сопла 3. Порожнина 6в сполучена з атмосферою через рухому трубку. Отже, зворотний хід плунжера здійснюється одночасно з підготовкою наступної порції матеріалу, що забезпечує безперервність процесу пластикації (рис.1).

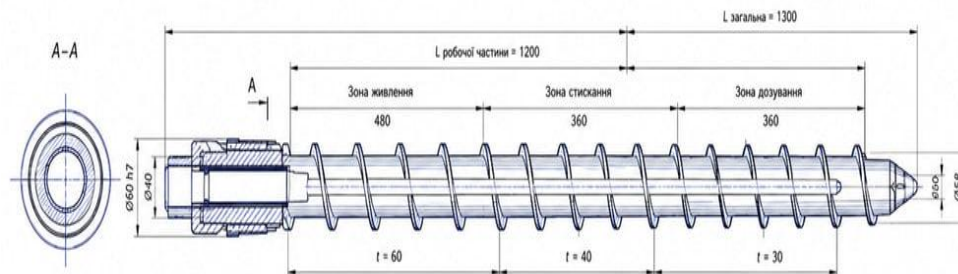


Рисунок 1 – Конструктивна схема модернізованого пластикаційного механізму

3D-моделювання базового та модернізованого шнека було виконано в середовищі SolidWorks (рисунок 2) [3]. Конструкція модернізованого шнека передбачає наявність осьової порожнини діаметром 20 мм, що проходить по всій довжині робочої частини 1200 мм. Також до складу конструкції входить плунжер діаметром 18 мм із різьбовою частиною M16 та герметизуючими канавками, а також ступінчаста порожнина, яка формує нагромаджувальну й

інжекційну камери. Матеріалом виготовлення обрано сталь 38ХНЗМФА згідно з ГОСТ 4543-71, твердість – HRC 28...32.

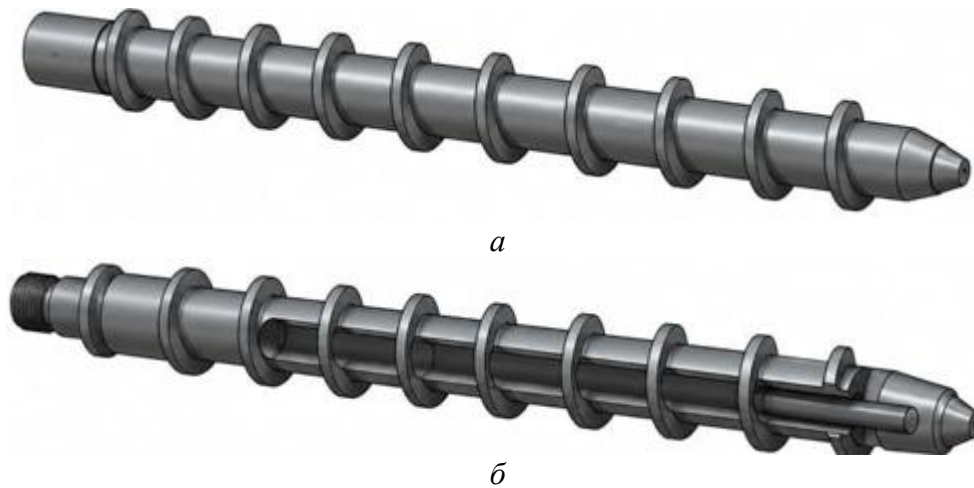


Рисунок 2 – 3D-моделі шнека: *a* – базова конструкція; *б* – модернізована з порожниною та плунжером

Числове моделювання напружено-деформованого стану було здійснено в програмному середовищі ANSYS Workbench у модулі Static Structural, базова модель рис.3 та її модифікована версія – рис. 4 [4].

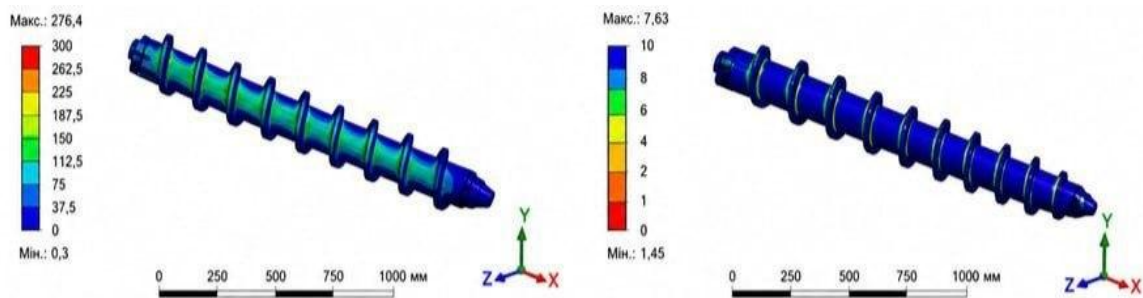


Рисунок 3 – Результати числового моделювання базової конструкції

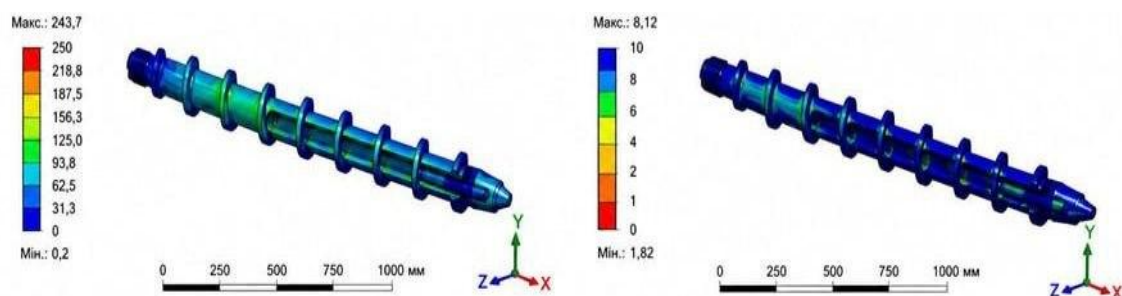


Рисунок 4 – Результати числового моделювання модернізованої конструкції

Розрахунок проводився за умови дії крутного моменту $T = 1200 \text{ Н}\cdot\text{м}$ та осьового навантаження $F_a = 30\,000 \text{ Н}$.

Для матеріалу були задані такі механічні характеристики: модуль пружності $E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,30$, границя текучості $\sigma_T = 785 \text{ МПа}$. Під час побудови скінченно-елементної моделі використано елементи типу SOLID186, тобто параболічні об'ємні елементи. Кількість елементів становила: для базового шнека – 218 764, для модернізованого – 245 381.

Отримані результати числового моделювання подано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльні результати числового моделювання шнека ТПА-250.

Параметр	Позначення	Базова конструкція	Модернізована конструкція	Зміна, %
Макс. еквівалентні напруження, МПа	$\sigma_{\max}$	276,4	243,7	-11,8%
Максимальне переміщення, мм	$u_{\max}$	0,742	0,683	-8,0%
Макс. еквів. деформація	$\varepsilon_{\max}$	0,00138	0,00118	-14,5%
Мінімальний запас міцності	$n_{\min}$	1,45	1,82	+25,5%
Коефіцієнт безпеки	n	2,84	3,22	+13,4%
Допустиме напруження, МПа	$\sigma_{\text{доп}}$	523	523	—

Максимальні еквівалентні напруження за Мізесом у базовому шнеку складають $\sigma_{\max} = 276,4$ МПа, що не перевищують допустимих (523 МПа). Мінімальний запас міцності $n_{\min} = 1,45$, що дещо нижче рекомендованого значення 1,5. У модернізованому шнеку максимальні напруження знижуються до 243,7 МПа (-11,8%), мінімальний запас міцності зростає до 1,82 (+25,5%), коефіцієнт безпеки становить 3,22. Максимальні переміщення зменшуються з 0,742 до 0,683 мм (-8,0%).

Висновки. Модернізацію пластикаційного механізму ТПА-250 виконано згідно з технічним рішенням, запропонованим у патенті UA 100079 U. За результатами числового моделювання в ANSYS Workbench встановлено, що модернізована конструкція дає змогу знизити максимальні напруження на 11,8%, збільшити мінімальний запас міцності на 25,5% – з $n_{\min} = 1,45$ до $n_{\min} = 1,82$, а також зменшити максимальні деформації на 14,5%.

Коефіцієнт безпеки модернізованого шнека становить 3,22, що перевищує допустиме значення $[n] = 1,5$. Завдяки забезпеченню безперервної пластикації, яка досягається одночасним ходом плунжера та набором дози розплаву, модернізований механізм дозволяє скоротити тривалість циклу лиття і підвищити продуктивність машини.

Перелік посилань

1. Мікульонок 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/handle/123456789/66408>
2. Пат. 94063U Україна, МПК В29С 45/46 (2006.01). Машина для лиття під тиском / В. І. Сівецький, О. Л. Сокольський, І. О. Мікульонок, О. Є. Колосов, В. М. Куриленко, В. С. Войтенко ; заявники та власники В. І. Сівецький, О. Л. Сокольський, І. О. Мікульонок, О. Є. Колосов, В. М. Куриленко, В. С. Войтенко. № u201405506 ; заявл. 22.05.2014 ; опубл. 27.10.2015, Бюл. № 20.
3. Основи проектування одноступінчатих 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. Карвацький А. Я. Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ. Лабораторний практикум з навчальної дисципліни [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / А. Я. Карвацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 392 с. URI: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/23916>

Аналіз перспективи застосування біоміметичних полімерно-керамічних композитних матеріалів в авіабудуванні

Карвацький А.Я., д.т.н., проф., Походенко О.Т., асп., Луцевят І.О., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано полімерно-керамічний композит (ПКК) з ієрархічною внутрішньою будовою, що за структурою близький до будови кісткової тканини та перламутру. З метою оцінки потенціалу ПКК як конструкційного матеріалу для силових елементів в авіабудуванні проведено порівняльний аналіз НДС з використанням традиційних матеріалів.

Ключові слова: композит, фізико-механічні властивості, полімери, кераміка, моделювання.

Вступ. Архітектура кісткової тканини з її щільною зовнішньою оболонкою та внутрішньою пористою структурою може слугувати ефективною моделлю для відтворення у полімерно-керамічних композитних матеріалах (ПКК), що можуть застосовуватись в авіабудуванні [1].

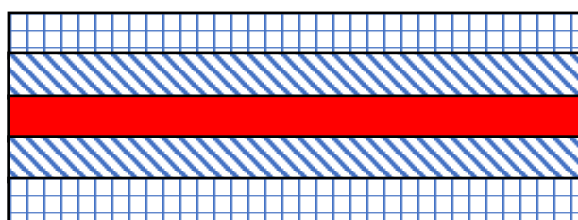
Для порівняльного аналізу напружено-деформованого стану (НДС) проведено дослідження трьох матеріалів: алюмінієвий сплав 1060, керамічна пластина, композитний матеріал (рис. 1) з керамічною пластиною, полімерними волокнами та кортикальною болонкою (табл. 1).

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості матеріалів

Матеріал	РЕЕК (полімер)	Al ₂ O ₃ (кераміка)	Сплав 1060	Полімерно- керамічний композит*
Щільність, кг/м ³	1310	3960	2700	1710
Модуль пружності, МПа	3900	370000	69000	74168
Коефіцієнт Пуассона	0.4	0.22	0.33	0.384
Границя текучості, МПа	100	250	27.6	110

* Примітка. Еквівалентні властивості визначено за Voight [2].

Для розв'язання задачі НДС пластини (рис. 2) використано метод скінченних елементів [3] і програмне забезпечення, розроблене на мові програмування Mathcad [4]. Для побудови геометрії пластини та її дискретизації скінченними трикутними елементами застосовано вільно відкрите програмне забезпечення Gmsh [5], а для візуалізації результатів розрахунків – вільно відкритий програмний код ParaView [6].



Полімерна (кортикальна) оболонка (РЕЕК)
Полімерні волокна під кутом 45° (РЕЕК)
Кераміка (Al₂O₃)
Полімерні волокна під кутом 45° (РЕЕК)
Полімерна (кортикальна) оболонка (РЕЕК)

Рисунок 1 – Будова ПКК з ієрархічною внутрішньою структурою з використанням адгезивного матеріалу Henkel Hysol EA 9394 у між шаровому просторі

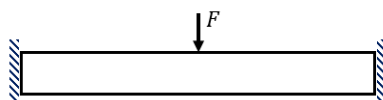


Рисунок 2 – Схема навантаження пластини: 100×5 мм; $F = 20000$ Н

Результати числового моделювання НДС пластин наведено на рис. 3.

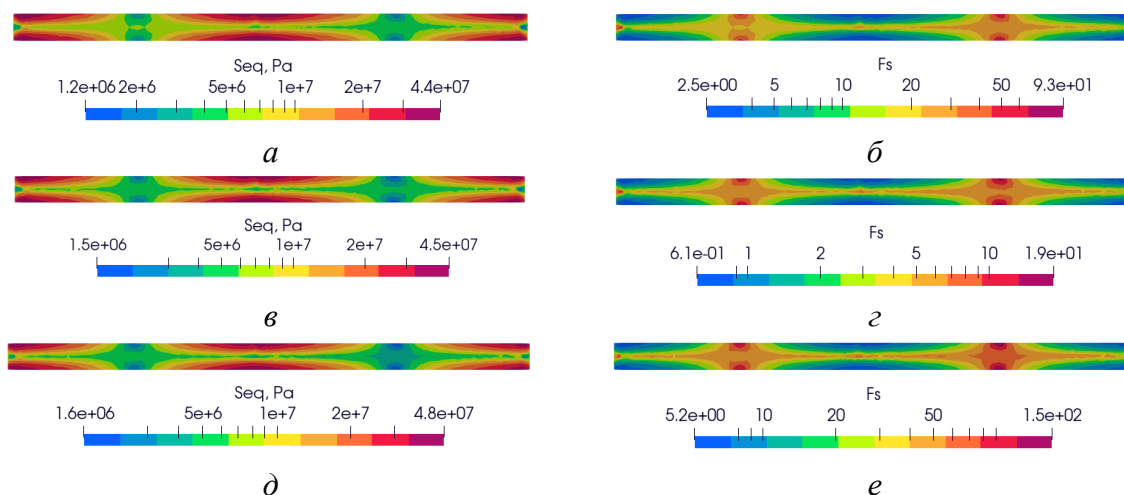


Рисунок 3 – НДС пластини з різних матеріалів: *а, б* – полімерно-керамічний композит; *в, г* – сплав 1060; *д, е* – Al_2O_3 (кераміка); *а, в, д* – напруження; *б, г, е* – запас міцності

Висновки. Аналіз результатів розрахунків показує, що на відміну від запасу міцності еквівалентні напруження в пластинах практично однакові (рис. 3); порівняно з алюмінієвим сплавом 1060 пластина з полімерно-керамічного композиту має запас міцності майже у 4–5 разів більший за більш ніж у 1.5 рази меншої щільності (табл. 1). Тобто ПКК має високу питому міцність. При цьому запас міцності пластини з ПКК порівняно з керамічною дещо менший (в 1.6–2 разів) за більш ніж у 2 рази меншої щільності (табл. 1). Однак у підсумку за такими важливими для авіабудування показниками як запас тріщиностійкості, щільність (табл. 1) і питома міцність (у разі поперечного силового навантаження до шарів матеріалу) полімерно-керамічний композит демонструє значні переваги порівняно з традиційними матеріалами.

Перелік посилань

1. Kabat O. Polymer composite materials of special purpose for the aerospace and rocket industry / O. Kabat, N. Bannyk, O. Voronyi // Science and Innovation. – 2025. – Vol. 21, No. 1. – P. 95–103. – DOI: <https://doi.org/10.15407/scine21.01.095>
2. Соловей В.В. Визначення механічних властивостей 3d-друкованих полімерних виробів методами структурної механіки / В.В. Соловей, А.Я. Карвацький, Т.В. Лазарєв, І.О. Мікульоньок, І.В. Омельчук // Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського". Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2021. – № 2. – С. 16–32. – DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-9741.2.2021.235853>
3. Карвацький А.Я. Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ. Програмна реалізація та візуалізація результатів [Електронний ресурс] : навч. посіб. / А.Я. Карвацький. – К. : НТУУ «КПІ», 2015. – 391 с. – Режим доступу : https://cpsm.kpi.ua/nauka/knigi/Tutorial_MSS.pdf.
4. Mathcad. Engineering math software that allows perform, analyze, and share your most vital calculations [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ptc.com/engineering-math-software/mathcad/> – (Data zvernennia: 04.01.2026). – Назва з екрана.
5. Gmsh. A three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and postprocessing facilities [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://geuz.org/gmsh/> – (Дата звернення : 07.03.2026). – Назва з екрана.
6. ParaView. An open-source, multi-platform data analysis and visualization application [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.paraview.org/> – (Дата звернення : 03.01.2026). – Назва з екрана.

Мікромеханічний аналіз та моделювання лляних/епоксидних ламінатів

Бондаренко А.М., студ., Сокольський О.Л., д.т.н., доц.

Національний технічний університет України

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

Виконано комплексний аналіз фізико-механічних характеристик лляного/епоксидного ламінату. Розраховано п'ять пружних сталей, досліджено кінетику вологопоглинання, побудовано матрицю жорсткості симетричного ламінату методами класичної теорії ламінатів. МСЕ-моделювання в середовищі ANSYS Mechanical виконано для пластини обшивки та лонжерону крила малого безпілотного літального апарату (БпЛА). Верифікація підтвердила збіжність аналітичних, числових та експериментальних результатів у межах 8,5 %. Проведено параметричний аналіз та LCA-порівняння з аналогами. Обґрунтовано доцільність застосування лляних ламінатів як екологічної та економічно ефективної альтернативи синтетичним матеріалам у виробництві малих БпЛА.

Ключові слова: лляний/епоксидний ламінат, мікромеханічний аналіз, МСЕ-моделювання, БпЛА, вологопоглинання.

Вступ. Стрімке зростання ринку малих безпілотних літальних апаратів (БпЛА) стимулює пошук конструкційних матеріалів, що поєднують малу масу, прийнятну міцність та мінімальний екологічний вплив. Лляні/епоксидні ламінати є перспективними кандидатами завдяки відновлюваній сировинній базі, низькому вуглецевому сліду ($GWP = 2,1 \text{ кг CO}_2/\text{кг}$ проти $11\text{--}31 \text{ кг CO}_2/\text{кг}$ для GFRP і CFRP відповідно) [1, 2] та унікально високому коефіцієнту демпфування механічних коливань ($\zeta = 0,030\text{--}0,045$, що у 2–4 рази перевищує показник скловолокна) [3]. Ієрархічна мікроструктура лляного волокна – целюлозні мікрофібрили зі спіральним кутом $8\text{--}12^\circ$ – зумовлює кращі питомі характеристики порівняно з іншими натуральними волокнами. Разом з тим комплексного мікромеханічного аналізу з верифікацією за трьома незалежними методами одночасно для даної матеріальної системи раніше не проводилося, що визначає актуальність дослідження.

Методика. Ламінат виготовлено методом вакуумної інфузії (VIP) зі схемою укладки $[0^\circ/90^\circ/90^\circ/0^\circ]_s$ (4 шари по 0,35 мм), загальна товщина $h = 1,4 \text{ мм}$, $V_f = 0,40$, $\rho_c = 1,25 \text{ г/см}^3$; матриця – Epikote 816 з відвертачем Cure 145. Вакуум у мішку підтримувався на рівні $-0,090 \text{ МПа}$, час інфузії – 25–35 хв, затвердіння – 24 год при кімнатній температурі + 4 год при температурі 60°C .

Пружні сталі UD-шару розраховано двома аналітичними методами: правилом сумішей Фойгта (ROM) – для E_1 і ν_{12} ; напівемпіричною моделлю Халпіна-Цая ($\xi = 2$) – для E_2 і G_{12} . Кінетику вологопоглинання описано рівнянням дифузії Фіка ($\partial c/\partial t = D \cdot \partial^2 c/\partial x^2$). Для симетричного ламінату $[0/90/90/0]_s$ побудовано матрицю жорсткості $[A]$ за класичною теорією ламінатів (CLT); матриця зв'язки $[B] = 0$ підтверджує відсутність деформацій зв'язки при охолодженні. МСЕ-моделювання виконано в ANSYS Mechanical 2023 R2 з елементами SHELL281 (8-вузловий, 6 ступенів свободи) для двох об'єктів: пластини обшивки $200 \times 150 \times 1,4 \text{ мм}$ та лонжерону крила $600 \times 25 \times 15 \times 1,4 \text{ мм}$. Фізичні випробування проведено на машині Zwick/Roell Z100 за ASTM D 638, D 790, D 2344.

Вплив поверхневої обробки волокон досліджено на трьох варіантах зразків: необроблені, оброблені 5 % NaOH та оброблені alkali+silane. Порівняльний LCA-аналіз виконано за методологією ISO 14040/14044 для системних меж «від колиски до воріт заводу». Параметричний аналіз охопив варіанти з $n = 2\text{--}8$ шарами при незмінній геометрії перерізу лонжерону.

Результати та їх обговорення. Розраховані пружні сталі UD-шару при $V_f = 0,40$ наведено в табл. 1. Збіжність методів ROM та Халпіна-Цая для $E_1 = 21,74 \text{ ГПа}$ обумовлена схемою Фойгта (ізострейн вздовж волокон). Більш точний результат для E_2 за Халпіним-Цаєм ($5,24 \text{ ГПа}$ проти $4,81 \text{ ГПа}$ за ROM) пов'язаний із врахуванням реальної форми перерізу волокна та ефекту

взаємодії сусідніх волокон. Ступінь анізотропії $E_1/E_2 = 4,15$ є помірним порівняно з CFRP (~ 10), що є перевагою для квазіізотропних корпусних елементів зі змінним напрямком навантаження.

Таблиця 1 – Пружні сталі лляного/епоксидного UD-шару ($V_f = 0,40$)

Метод визначення	E_1 , ГПа	E_2 , ГПа	G_{12} , ГПа	ν_{12}
ROM (Фойгт)	21,74	4,81	1,72	0,340
Халпін-Цай ($\xi = 2$)	21,74	5,24	2,87	0,340
Експеримент (ASTM D 638)	$20,5 \pm 1,8$	$5,1 \pm 0,6$	–	–

Аналіз вологопоглинання виявив, що необроблений ламінат досягає насичення $M_\infty = 3,8 \pm 0,3$ % за $t_{50} = 72$ год ($D = 3,2 \times 10^{-12}$ м²/с). Для порівняння: епоксидна матриця насичується значно повільніше ($t_{50} = 520$ год, $M_\infty = 1,2$ %), а GFRP практично не поглинає вологу ($M_\infty < 0,5$ %). Лужна обробка 5 % NaOH знижує M_∞ до 2,9 % та підвищує σ_t на 13 % завдяки видаленню пектину і лігніну з поверхні волокна та збільшенню адгезії волокно–матриця. Комбінована обробка alkali+silane додатково знижує M_∞ до $2,3 \pm 0,2$ % і збільшує t_{50} до 110 год – майже вдвічі порівняно з необробленим зразком.

МСЕ-розрахунок пластини обшивки (3468 вузлів, 3350 елементів, $Avg = 0,9999$) при рівномірному аеродинамічному тиску $q = 6,77 \times 10^{-4}$ МПа показав максимальний прогин $w_{max} = 0,314$ мм та запас міцності за критерієм Цай-Бу $SF = 18,4$; аналітичне значення – 0,289 мм (розбіжність 8,7 %). Для лонжерону крила (11 438 вузлів, 11 400 елементів) при консольному навантаженні $F = 11,7$ Н прогин вільного кінця склав 2,70 мм (рис. 1), $SF = 12,4$; лінійний аналіз стійкості дав $LM_1 = 0,889$, що свідчить про можливість втрати стійкості при незначному перевантаженні і вказує на необхідність посилення конструкції або введення поперечних нервюр для силових застосувань [4, 5].

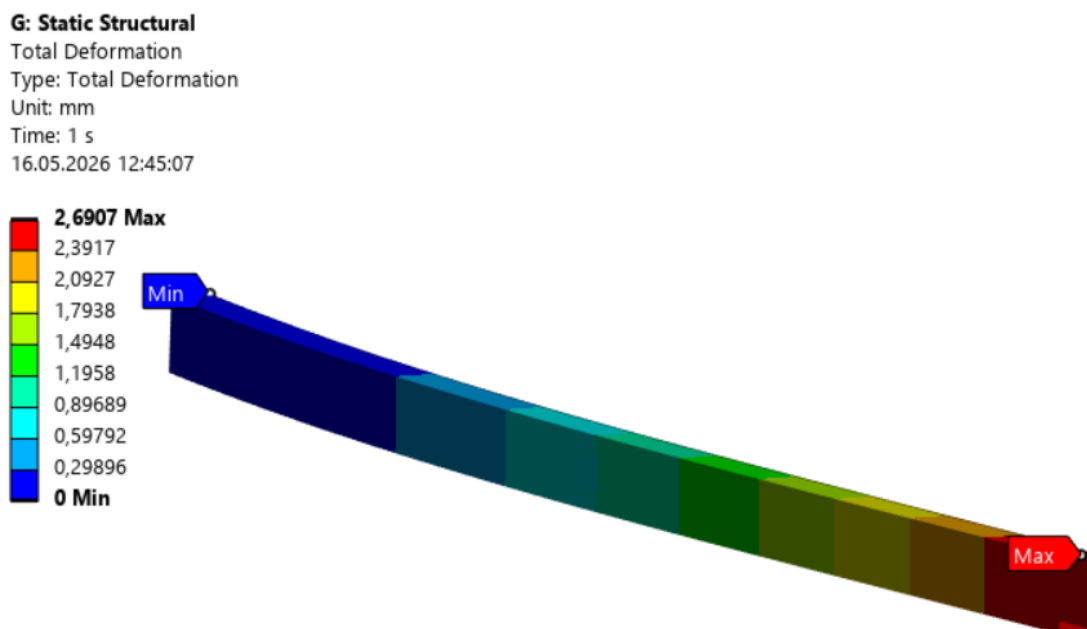


Рисунок 1 – Розподіл повного переміщення лонжерона крила, мм

Параметричний аналіз ($n = 2$ –8 шарів) показав нелінійний характер залежності прогину від кількості шарів: при збільшенні n з 4 до 6 прогин зменшується у 3,4 рази (з 1,74 до 0,51 мм), а SF зростає з 34,7 до 52,2 при збільшенні маси лише на 50 % ($38,5 \rightarrow 57,8$ г). Оптимальним за критерієм «жорсткість/маса» є варіант $n = 4$, що забезпечує $SF > 5$ при $f/L = 0,29$ %. Зведені результати для трьох матеріалів на геометрії лонжерону наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Порівняльні МСЕ-результати лонжерону 600×25×15×1,4 мм

Параметр	Льон/Епоксид	GFRP E-glass	CFRP T300	Одиниці
E_1	21,74	30,0	75,4	ГПа
ρ_c	1,25	1,95	1,55	г/см ³
$f_{\max}$ (аналіт.)	1,74	1,26	0,50	мм
SF (Цай-Бу)	34,7	57,1	142,9	—
Маса лонжерону	38,5	60,1	47,8	г
f при рівній масі (38,5 г)	1,74	2,30	0,89	мм
Вартість матеріалу	0,46	1,08	4,62	\$/лонж.

Дані табл. 2 демонструють ключовий результат: при рівній масі (38,5 г) прогин лляного лонжерону (1,74 мм) є меншим, ніж у GFRP (2,30 мм), тобто льон має вищу питому жорсткість за скловолокно. Вартість матеріалу при цьому у 2,3 рази нижча. Порівняльний LCA-аналіз підтверджує конкурентоспроможність за екологічним критерієм: вуглецевий слід лляного ламінату (2,15 кг CO₂/кг) у 5 разів менший за GFRP (11 кг CO₂/кг) та у 15 разів – за CFRP T300 (31,5 кг CO₂/кг) [6]. Лляний ламінат займає оптимальну позицію у просторі «вартість × GWP»: найменша вартість панелі (~37 \$) при мінімальному вуглецевому сліді серед усіх розглянутих матеріалів при однаковій згинальній жорсткості D_{11} .

Висновки. Вперше для лляного/епоксидного ламінату виконано повний мікромеханічний аналіз з верифікацією трьома незалежними методами (аналітика, МСЕ, фізичне випробування), розбіжність між якими не перевищує 8,5 %. Встановлено, що при $V_f = 0,40$ матеріал забезпечує $E_1 = 21,74$ ГПа, $\sigma_t = 182$ МПа, $\zeta = 0,030\text{--}0,045$. Лужна обробка 5 % NaOH підвищує міцність на 13 % та знижує вологопоглинання на 29 %. МСЕ-розрахунок підтвердив достатній запас міцності конструктивних елементів БпЛА ($SF > 12$). Параметричний аналіз визначив оптимальну кількість шарів $n = 4$ за критерієм «жорсткість–маса». За сукупністю критеріїв «питома жорсткість–вартість–вуглецевий слід» лляний/епоксидний ламінат переважає GFRP для ненавантажених і напівантажених елементів корпусу малих БпЛА та є перспективною основою для вітчизняного екологічного виробництва авіаційних компонентів.

Перелік посилань

1. Bos H. L. The potential of flax fibres as reinforcement for composite materials / H. L. Bos. Eindhoven : Technische Universiteit Eindhoven, 2004. 182 p. DOI: 10.6100/IR575360
2. Summerscales J. A review of bast fibres and their composites. Part 1 Fibres as reinforcements / J. Summerscales, N. P. J. Dissanayake, A. S. Virk, W. Hall // Composites Part A. 2010. Vol. 41, N 1. P. 1337–1366. DOI: 10.1016/j.compositesa.2010.06.001
3. Duc F. Low velocity impact resistance of composites with natural fibres / F. Duc, P. E. Bourban, J.-A. E. Månson // Composites Science and Technology. 2014. Vol. 100. P. 179–187. DOI: 10.1016/j.compscitech.2014.06.009
4. Halpin J. C. The Halpin-Tsai equations: a review / J. C. Halpin, J. L. Kardos // Polymer Engineering & Science. 1976. Vol. 16, N 5. P. 344–352. DOI: 10.1002/pen.760160512
5. Barbero E. J. Introduction to composite materials design / E. J. Barbero. 3rd ed. Boca Raton : CRC Press, 2018. 552 p. DOI: 10.1201/9780429296192
6. Dicker M. P. M. Green composites: a review of material attributes and complementary applications / M. P. M. Dicker, P. F. Duckworth, A. B. Baker et al. // Composites Part A. 2014. Vol. 56. P. 280–289. DOI: 10.1016/j.compositesa.2013.10.014
7. Yan L. Flax fibre and its composites – a review / L. Yan, N. Chouw, K. Jayaraman // Composites Part B. 2014. Vol. 56. P. 296–317. DOI: 10.1016/j.compositesb.2013.08.014

Дослідження модернізованого шнека дозатора гранул

Сідоров Д.Е., к.т.н., доц., Гарбовський Д.А., студ.

Національний технічний університет України

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

Запропоновано модернізацію шнека дозатора гранул шляхом використання гнучких елементів робочої поверхні. Проведено порівняння базової та модернізованої моделей шнека за масою, деформаціями, еквівалентними напруженнями та коефіцієнтом запасу міцності. Застосування гнучких елементів може сприяти зменшенню механічного впливу на гранульований матеріал та підвищенню ремонтпридатності робочого органу.

Ключові слова: дозатор гранул, шнек, гнучкі елементи, модернізація, напружено-деформований стан.

Вступ. Дозатори гранул застосовуються у технологічних лініях для подавання та дозування сипких матеріалів у гранульованому стані [1]. Основним робочим органом такого обладнання є шнек, від конструкції якого залежать рівномірність подавання матеріалу, навантаження на елементи машини та надійність роботи дозатора.

Основна частина. У базовій конструкції шнек має жорстку гвинтову поверхню, яка безпосередньо взаємодіє з гранулами та сприймає навантаження під час транспортування матеріалу. Одним із напрямів удосконалення є використання еластичної робочої поверхні, що забезпечує більш податливу взаємодію шнека з матеріалом [2]. Тому актуальним є дослідження модернізованого шнека дозатора гранул із гнучкими елементами робочої поверхні.

Метою роботи є порівняння базової та модернізованої моделей шнека за результатами статичного розрахунку.

Базова модель шнека дозатора гранул має центральний вал із жорсткою гвинтовою поверхнею, яка безпосередньо взаємодіє з матеріалом під час його переміщення вздовж корпусу дозатора. Така конструкція є простою у виготовленні, однак під час роботи вона передає навантаження як на гранульований матеріал, так і на елементи самого робочого органу.

Модернізована конструкція шнека (рис. 1) передбачає поєднання жорсткої несучої частини та гнучкої робочої поверхні. Основу робочого органу утворює центральний вал з несучою смуговою гвинтовою спіраллю. До периферійної частини спіралі за допомогою механічних з'єднань кріпиться робоча еластична спіраль. Така конструкція дає змогу зберегти несучу здатність шнека та одночасно забезпечити більш податливу взаємодію робочої поверхні з гранульованим матеріалом.

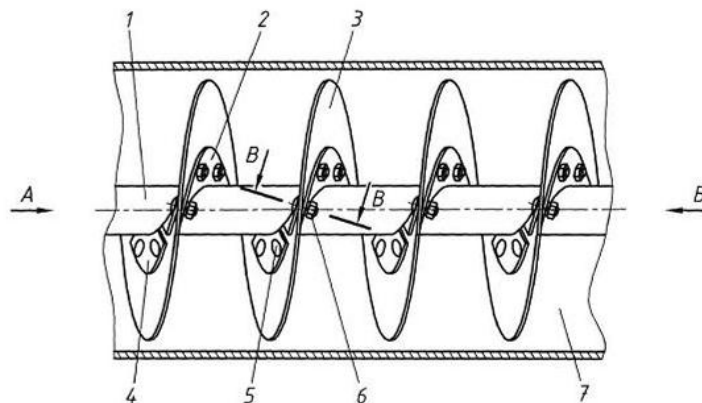


Рисунок 1 – Загальний вигляд модернізованого шнека з суцільною еластичною гвинтовою поверхнею: 1 – центральний вал; 2 – несуча смугова гвинтова спіраль; 3 – робоча еластична спіраль; 4 – секційна гвинтова пластина; 5 – болтове з'єднання з напівкруглою головкою; 6 – гайка з гравером; 7 – кожух дозатора

Гнучкі елементи робочої поверхні закріплюються на несучій смуговій спіралі за допомогою болтових з'єднань. Таке рішення забезпечує можливість заміни робочих елементів у разі зношування, підвищує ремонтпридатність конструкції та дозволяє адаптувати шнек до умов транспортування різних гранульованих матеріалів.

Для оцінювання працездатності запропонованої модернізації було виконано статичний розрахунок базової та модернізованої моделей шнека. Порівняння проводилося за такими показниками (таблиця 1): маса моделі, максимальна загальна деформація, максимальна напрямлена деформація за віссю Y, максимальні еквівалентні напруження за Мізесом та мінімальний коефіцієнт запасу міцності [3]. Рисунки 2 та 3 ілюструють результати розрахунку деформацій базової та модернізованої моделей шнека відповідно.

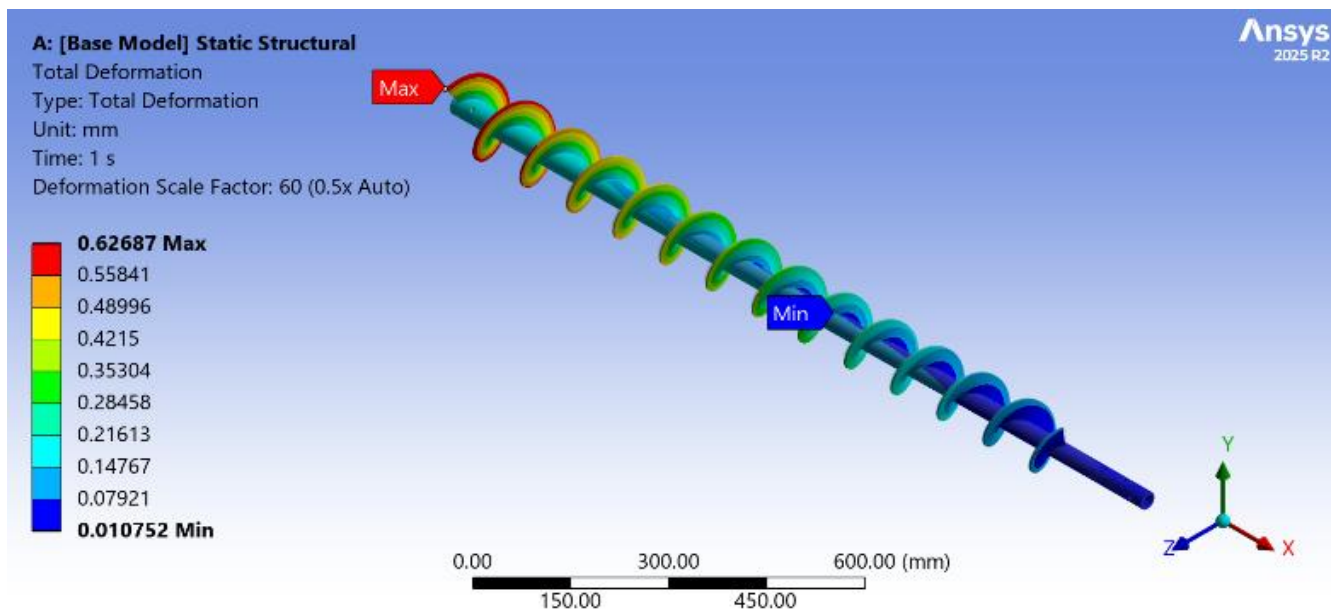


Рисунок 2 – Результати розрахунку деформацій базової моделі шнека дозатора гранул

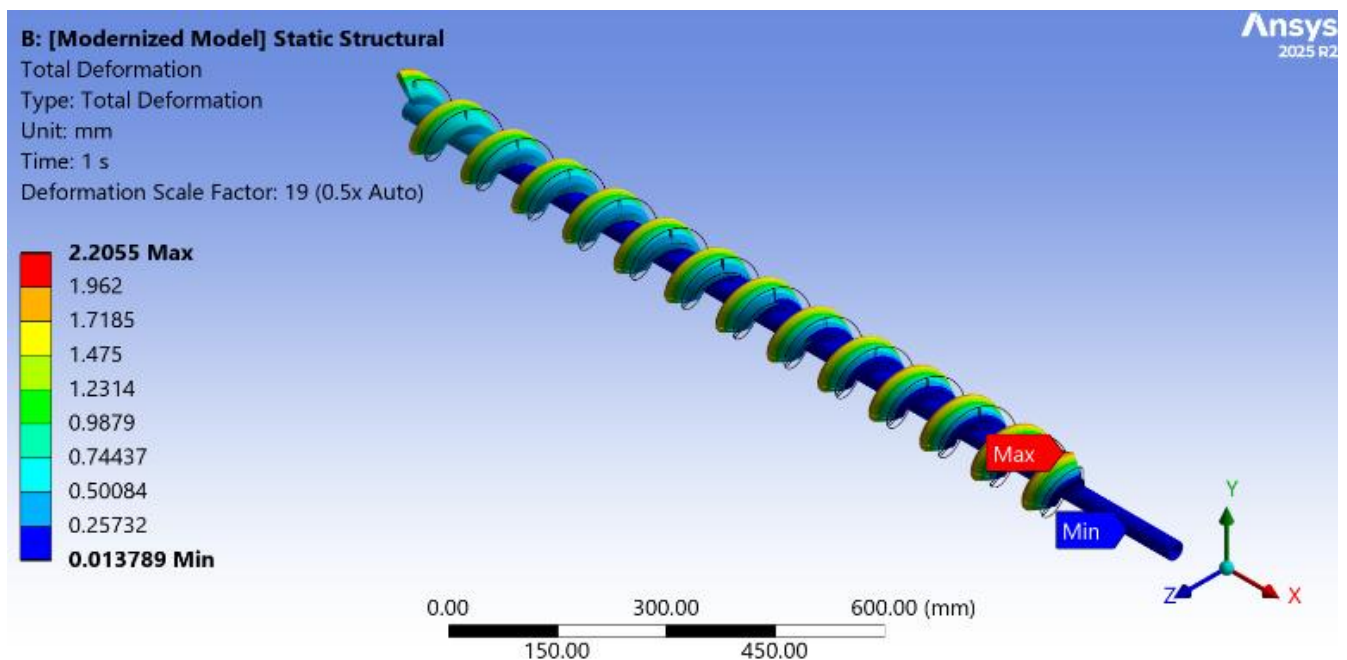


Рисунок 3 – Результати розрахунку деформацій модернізованої моделі шнека дозатора гранул

Таблиця 1 – Порівняння результатів статичного розрахунку базової та модернізованої моделей шнека

Результат розрахунку	Базова модель	Модернізована модель	Зміна, %
Загальна маса моделі, кг	7.5153	6.0693	-19.24
Максимальна загальна деформація, мм	0.62687	2.2055	251.83
Максимальна деформація за віссю Y, мм	0.62237	0.56156	-9.77
Максимальні еквівалентні напруження за Мізесом, МПа	103.31	80.848	-21.74
Мінімальний коефіцієнт запасу міцності	3.176	4.0582	27.78

Висновки. Проведено порівняння базової та модернізованої моделей шнека дозатора гранул. Модернізована конструкція передбачає використання гнучких елементів робочої поверхні, що може покращити взаємодію шнека з гранульованим матеріалом та підвищити ремонтпридатність робочого органу.

За результатами порівняння встановлено, що маса модернізованої моделі зменшилася з 7.5153 кг до 6.0693 кг (-19.24%). Максимальна загальна деформація всієї моделі збільшилася з 0.62687 мм до 2.2055 мм (+251.83%), що пояснюється наявністю гнучких елементів робочої поверхні, які мають більшу податливість порівняно з жорсткою гвинтовою поверхнею базового шнека. Максимальна деформація за віссю Y зменшилася з 0.62237 мм до 0.56156 мм (-9.77%), що свідчить про зменшення прогину конструкції в заданому напрямку. Максимальні еквівалентні напруження за Мізесом зменшилися з 103.31 МПа до 80.848 МПа (-21.74%). Мінімальний коефіцієнт запасу міцності збільшився з 3.176 до 4.0582 (+27.78%).

Отримані результати показують, що модернізована модель шнека зберігає працездатність за заданих умов навантаження. Незважаючи на збільшення максимальної загальної деформації всієї моделі, це збільшення пов'язане переважно з роботою гнучких елементів, тоді як сам модернізований вал має меншу деформацію порівняно з валом базової моделі. Зменшення маси, максимальних еквівалентних напружень та збільшення коефіцієнта запасу міцності свідчать про доцільність запропонованої модернізації робочого органу дозатора гранул.

Перелік посилань

1. Інжиніринг пакувального обладнання: Текст лекцій для студентів спеціальності «Прикладна механіка», спеціалізації «Машини і технології пакування» / Уклад.: А.Я. Карвацький – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 141 с.
2. Шнек з еластичною гвинтовою поверхнею : пат. 101095 Україна : МПК B65G 33/26 (2006.01), B65G 33/16 (2006.01) / А. І. Крисоватий, Р. Б. Гевко, С. З. Залуцький, І. Г. Ткаченко, М. В. Градова. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/870090/>
3. Карвацький А.Я. Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ. Програмна реалізація та візуалізація результатів [Електронний ресурс] : навч. посіб. / А.Я. Карвацький. – К. : НТУУ «КПІ», 2015. – 391 с. – Режим доступу : https://cpsm.kpi.ua/nauka/knigi/Tutorial_MSS.pdf.

Теплове моделювання локального впливу CO₂-лазера на OLIO Laserrubber

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

Виконано моделювання розподілу температур у зразку OLIO Laserrubber під впливом локального опромінювання CO₂-лазера. Застосовано хмарне програмне середовище SimScale.

Ключові слова: CO₂-лазер, OLIO Laserrubber, лазерне гравіювання, тепловий потік, температурне поле, зона термічного впливу, SimScale.

Вступ. CO₂-лазерна обробка спеціалізованих гравірувальних гум широко застосовується під час виготовлення штампів, кліше та елементів із мікрорельєфом. Основним фактором, що визначає якість обробки, є локальний перегрів матеріалу в зоні дії лазерної плями [1]. Надмірний тепловий потік може спричинити термодеструкцію, карбонізацію, зміну геометрії рельєфу та погіршення експлуатаційних властивостей гуми. Тому чисельне моделювання температурного поля дає змогу попередньо оцінити характер розподілу тепла та локалізацію зони термічного впливу.

Основна частина. Метою роботи є чисельне моделювання температурного поля в зразку OLIO Laserrubber за локального впливу CO₂-лазера та оцінювання характеру поширення тепла від зони лазерної плями вглиб матеріалу.

Як матеріал досліджувалася гума OLIO Laserrubber [2]. У моделі були використані такі теплофізичні параметри: густина 1310 кг/м³; питома теплоємність 1500 Дж/(кг·К); теплопровідність 0,255 Вт/(м·К); об'ємна теплоємність 1965000 Дж/(м³·К)

Лазерний вплив задавався як поверхневий тепловий потік: $1,15 \cdot 10^{10}$ Вт/м², прикладений до локальної області поверхні, що відповідає зоні лазерного впливу. На іншій частині поверхні було задано умову фіксованої температури 303,15 К.

Програмне моделювання виконано у хмарному середовищі SimScale з використанням модуля Heat Transfer [3] та розв'язувача Code_Aster [4]. Розглядалася 3-D задача на 5075 вузлах сітки з 17133 об'ємними елементами TETRA4 та 4054 поверхневими елементами TRIA3. Локальна зона прикладання теплового потоку містила 18 елементів TRIA3. Розрахунок виконано як стаціонарний тепловий аналіз.

Отримане температурне поле (рис. 1) показує, що тепловий вплив має локальний характер: максимальне нагрівання спостерігається безпосередньо під областю прикладання лазерного потоку, а в навколишньому матеріалі температура швидко зменшується.

Променевий потік розігріває поверхневу зону зразка до температури абляції. Ця зона зразка швидко випаровується, що не відображається моделлю.

Не глядячи на це, температурна картина відповідає фізичній картині CO₂-лазерної обробки гуми, за якої енергія випромінювання поглинається в поверхневому шарі та далі поширюється всередину за рахунок теплопровідності. Це важливо для лазерного гравіювання, оскільки надмірне розширення зони термічного впливу може призводити до зниження точності рельєфу, зміни структури поверхні та появи термодеструктивного шару.

Аналіз розподілу ізотерм вказує на наявність вираженого температурного градієнта, що свідчить про високу концентрацію енергії в точці фокусування променю. Разом з тим, встановлено, що тепла енергія поширюється за межі зони абляції, формуючи навколо неї перехідну область з підвищеною температурою. Саме в цій області можлива небажана зміна фізико-хімічних властивостей гуми, яка, хоч і не піддається прямому випаровуванню, проте зазнає термічного «старіння» чи локальної деформації, що може погіршувати точність відтворення дрібних елементів рельєфу.

Отримані дані підтверджують ефективність використання методу скінченно-елементного моделювання для оптимізації режимів лазерної обробки. Завдяки програмному середовищу SimScale з'являється можливість ітеративно коригувати потужність лазера та швидкість його

переміщення, мінімізуючи розміри зони термічного впливу ще до етапу практичних випробувань. Це суттєво скорочує час на технологічну підготовку виробництва та дозволяє прогнозувати якісні показники готових кліше при роботі з конкретним матеріалом – OLIO Laserrubber.

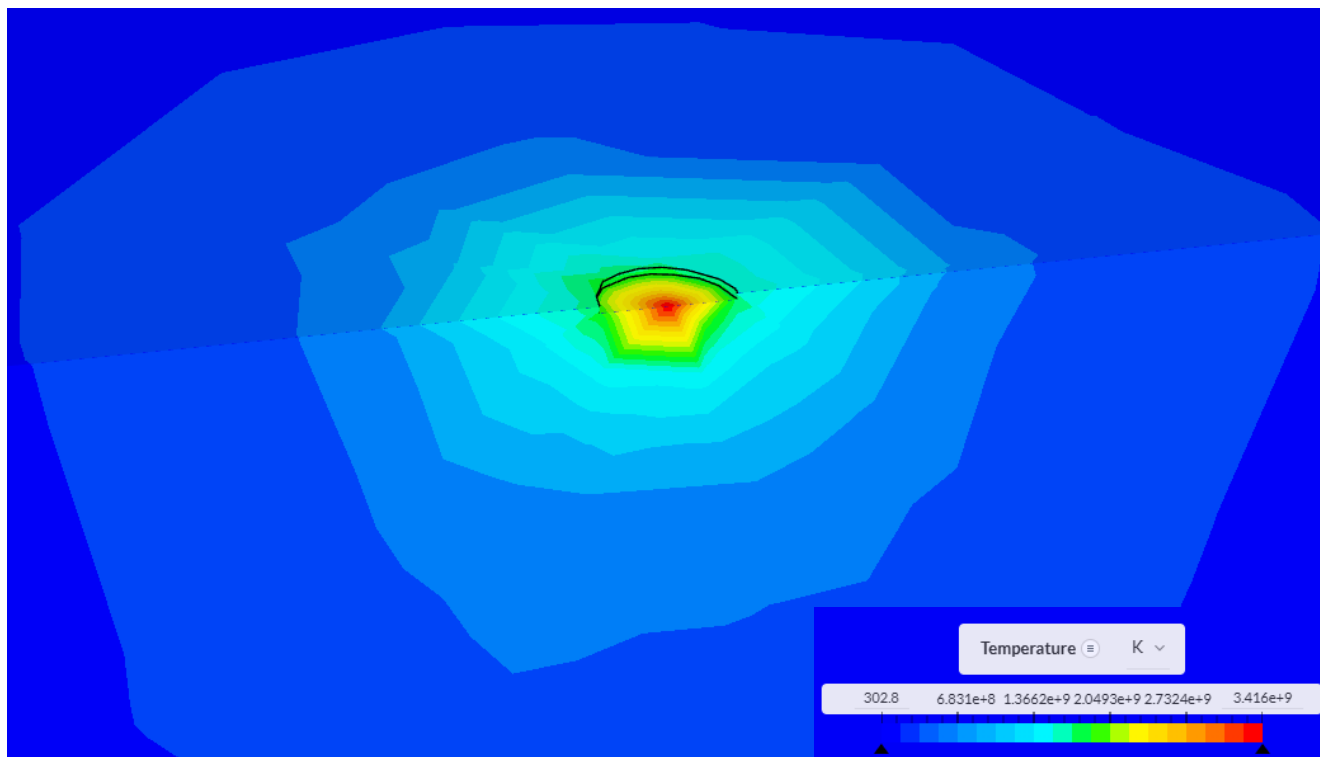


Рисунок 1 – Температурне поле в зразку OLIO Laserrubber за локального впливу CO₂-лазера

Висновки. Проведене моделювання дозволило попередньо оцінити характер поширення тепла в матеріалі OLIO Laserrubber та визначити область можливого формування зони термічного впливу. Для подальшого уточнення результатів доцільно виконати нестационарний розрахунок, який враховуватиме тривалість лазерного імпульсу, часову зміну теплового потоку та процес охолодження матеріалу після завершення дії випромінювання.

Перелік посилань

1. Sidorov, D., Kozik, D., Kazak, I., Shylovych, T., & Pribyliev, Y. (2025). Formation of a destructive layer in special rubbers depending on CO₂-laser processing modes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(1(137)), 85–93. DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341378.
2. Trodat GmbH. Olio Laserrubber: Safety Data Sheet. 2024. SimScale Documentation. What Is Heat Transfer? SimScale GmbH. https://www.simscale.com/docs/simwiki/heat-transfer-thermal-analysis/what-is-heat-transfer/?utm_source=chatgpt.com
3. SimScale Documentation. Heat Transfer Analysis. SimScale GmbH. https://www.simscale.com/docs/analysis-types/heat-transfer/?utm_source=chatgpt.com

Моделювання процесів змішування розплавів термопластів у динамічному змішувачі

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

Наведено розрахунки коефіцієнту змішування черв'яка екструдера для гранулювання. За допомогою зміни геометричних параметрів динамічних елементів черв'яка було досягнуто підвищення гомогенізації суміші ПЕНГ та ПП.

Ключові слова: черв'як, екструдер, ANSYS, змішування, Fluent.

Вступ. Екструзія – поширений метод переробки полімерів у сировину для подальшого виготовлення деталей як за цією ж технологією так і литтям в термопластавтоматах.

Відомі конфігурації черв'яків наведені в літературі [1-2] не мають в своїй конструкції додаткових елементів для змішування розплаву, що створює неоднорідні ділянки в виробі й негативно впливає на їх механічні властивості.

Для вирішення наведеної проблеми було проведено літературно-патентне дослідження та застосовано корисну модель [3] та розрахункову модель [4]. Підготовано спрощену зону змішування для числового моделювання з різними конфігураціями виконання динамічних елементів на черв'яку (рис. 1).

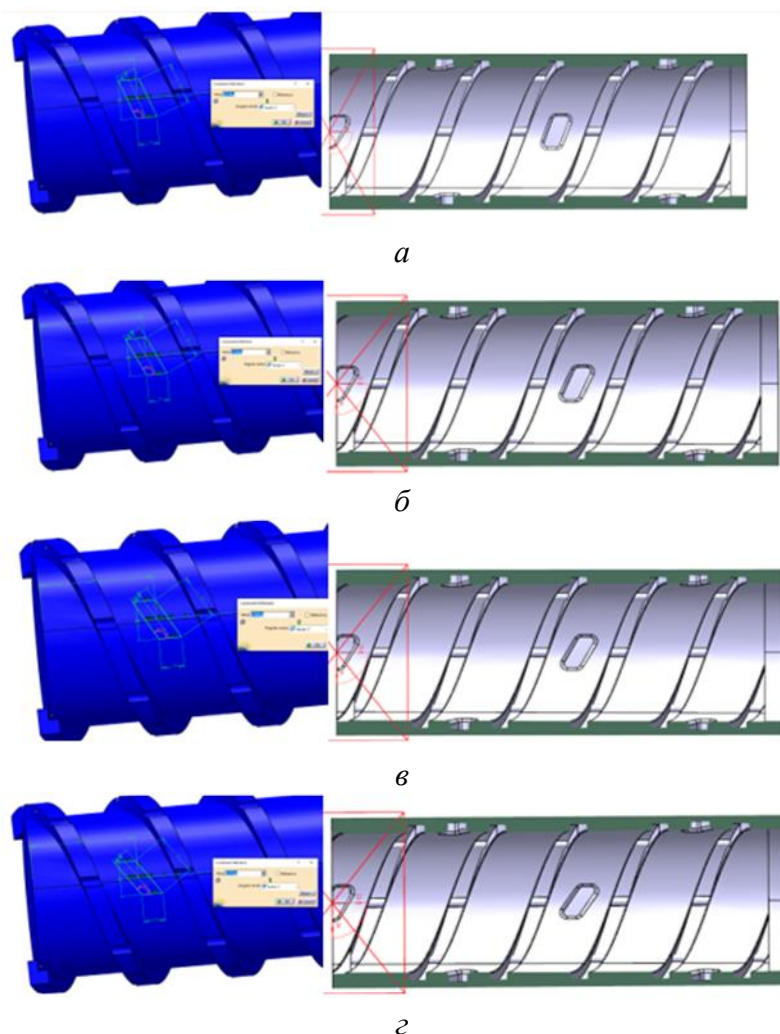
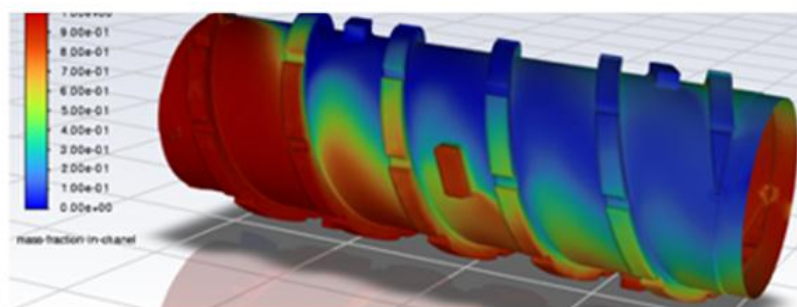
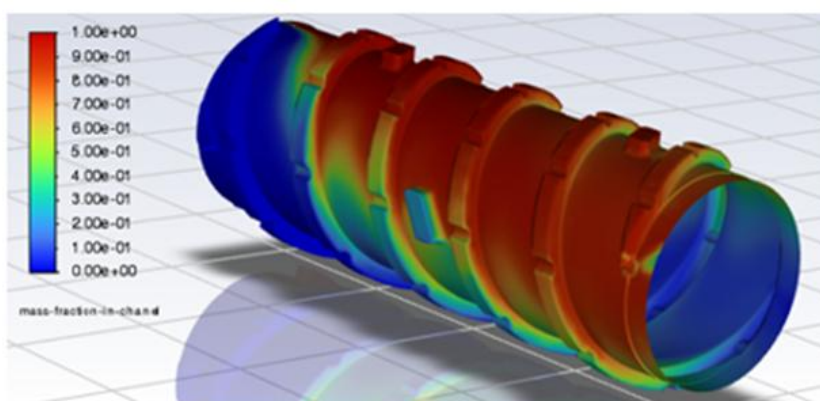


Рисунок 1 – Конфігурації зони змішування зі змінним кутом нахилу динамічного елемента відносно нормалі потоку розплаву: а – кут $\alpha_s = 0^\circ$, б – кут $\alpha_s = 5^\circ$, в – кут $\alpha_s = 10^\circ$, г – кут $\alpha_s = 15^\circ$

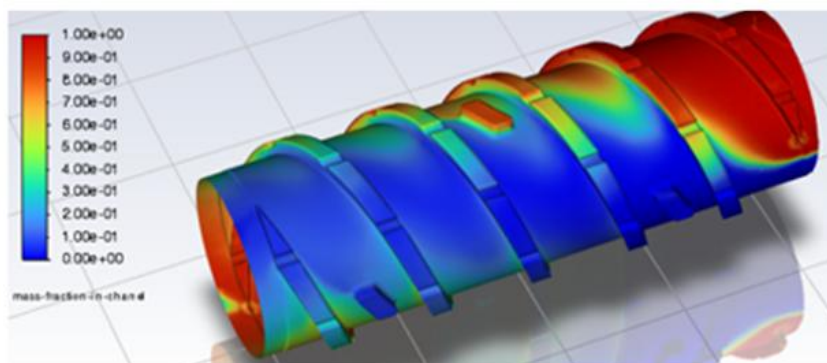
Розрахунок виконано в модулі Fluent за моделлю Species Transport. За однакових умов розрахунку виконано моделювання для наведених конфігурацій. Подальші розрахунки виконані з заміною сітки попередньої конфігурації, на наступну. Результати розподілу масових часток для різних конфігурацій наведені на рис. 2–3.



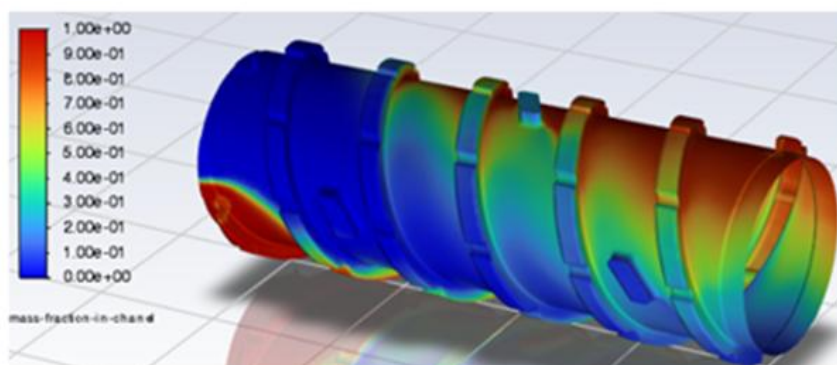
a



б



в



г

Рисунок 2 – Розподіл масової частки матеріалу в каналі екструдера: *a* – кут $\alpha_s = 0^\circ$, *б* – кут $\alpha_s = 5^\circ$, *в* – кут $\alpha_s = 10^\circ$, *г* – кут $\alpha_s = 15^\circ$

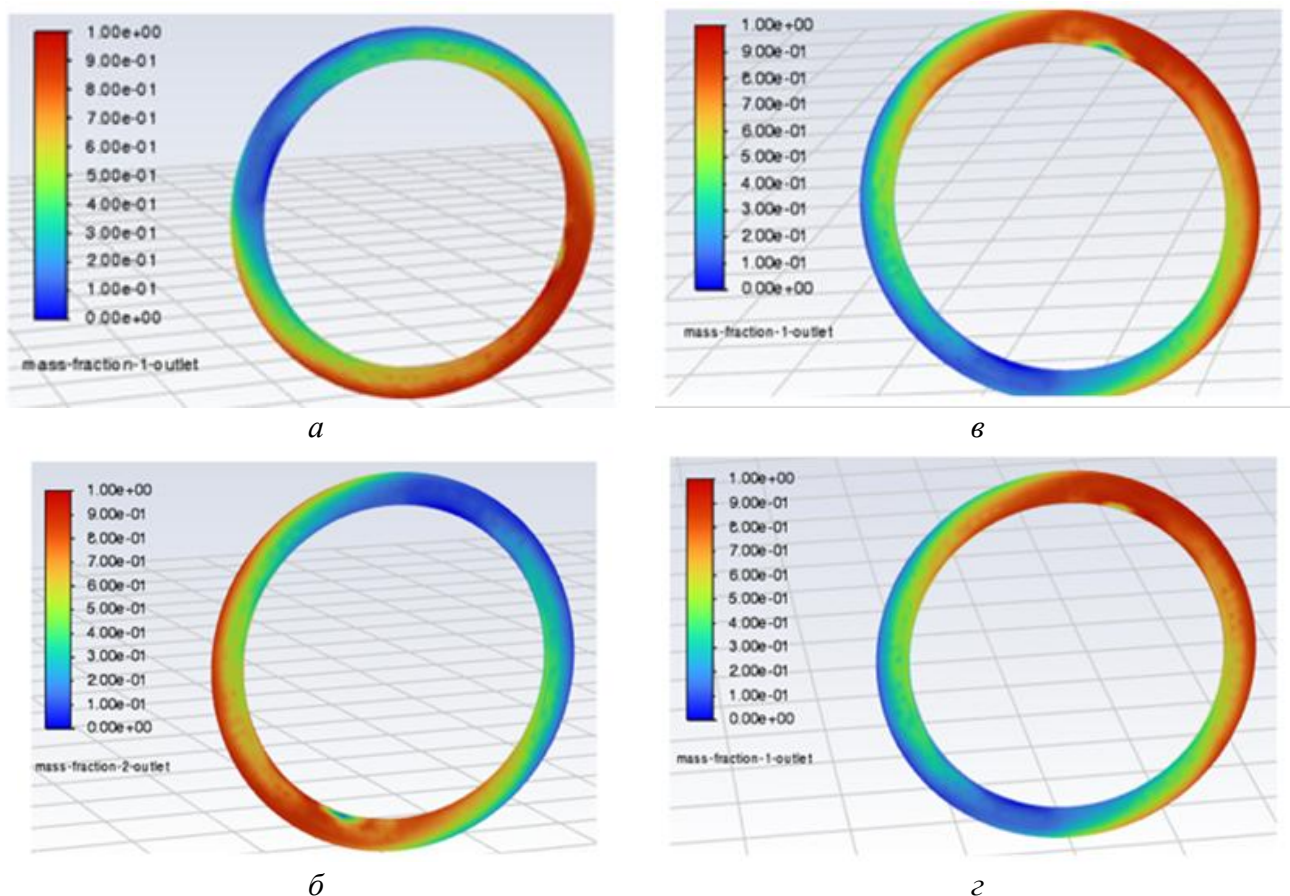


Рисунок 3 – Масова частки на виході з каналу для кожної конфігурації: *a* – кут $\alpha_s = 0^\circ$, *б* – кут $\alpha_s = 5^\circ$, *в* – кут $\alpha_s = 10^\circ$, *г* – кут $\alpha_s = 15^\circ$

Висновки. Наведені в джерелі [3] методи підвищення гомогенізації перевірено методом числового моделювання в Ansys Fluent. Аналіз результатів числового моделювання показав, що збільшення кута нахилу динамічного елемента з 0° до 20° призвело до підвищення коефіцієнту змішування на 4% при незначному збільшенні перепаду тиску в зоні змішування, що є підтвердженням доцільності такого виконання черв'яка.

Перелік посилань

1. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів: навч. посіб. / І. О. Мікульонюк, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 200 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25367>
2. Витвицький В. М., Мікульонюк І. О. Моделювання процесу живлення черв'ячного екструдера полімерною сировиною. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 136 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41177>
3. Lug type extruder screw: пат. US9011131B2 США: МПК B28B I7/02, B29C 47/62, B29B 7/42, B29C 47/60, B29C 47/00, B29C 47/0. №. 2010 61/312,849, заявл. 02.28.2011; опубл. 21.04.2015, Бюл. № 13/036,148.
4. Панцир А.С., Чемерис А.О. Розробка розрахункової моделі модернізованої конструкції черв'яка. *Всеукраїнська науково-практична конференція «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки»* : зб. доповідей XVII. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – С. 36-37.

Модернізація формуючої головки

Шилович Т.Б., к.т.н., доц., Тарасюк Х.І., студ., Козловець А.О., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Обґрунтовано ефективність обраного рішення щодо модернізації формуючої головки черв'ячного екструдера шляхом додавання регульовального вузла з пружними кільцевими мембранами та штоками. Проведено числове комп'ютерне моделювання в системі Ansys для оцінки надійності, міцності та деформативності конструкції під дією реального робочого тиску розплаву полімеру.

Ключові слова: черв'ячний екструдер, формуюча головка, пружня мембрана, напружено-деформований стан.

Вступ. При виробництві плоскої плівки з ПВХ надзвичайно важливо забезпечити стабільність гідродинамічного тиску розплаву в головці [1]. Коливання температури сировини чи пульсації подачі шнека викликають перепади цього тиску, що призводить до різнотовщинності плівки та браку. Традиційні механічні системи ручного регулювання зазору мають високу інерційність і не здатні швидко компенсувати такі динамічні зміни [2]. Тому розробка формуючих головок з автоматизованими гнучкими елементами для стабілізації параметрів потоку в реальному часі є актуальним інженерним завданням.

Для того, щоб перевірити ефективність запропонованого рішення, було проведено розрахунок модернізованого вузла, на основі патенту №155548 [3], на еквівалентні напруження та переміщення у модулі Static Structural програмного комплексу Ansys [4].

Було задано температурні умови: зміна по товщині від 170 °С до 195 °С по довжині і зміна в 5 °С по товщині (рис. 1). Матеріал корпусу і штоків – Сталь 40ХН2МА, границя текучості 850 МПа, границя міцності 930 МПа, мембран – Сталь 65Г, границя текучості 980 МПа, границя міцності 1180 МПа.

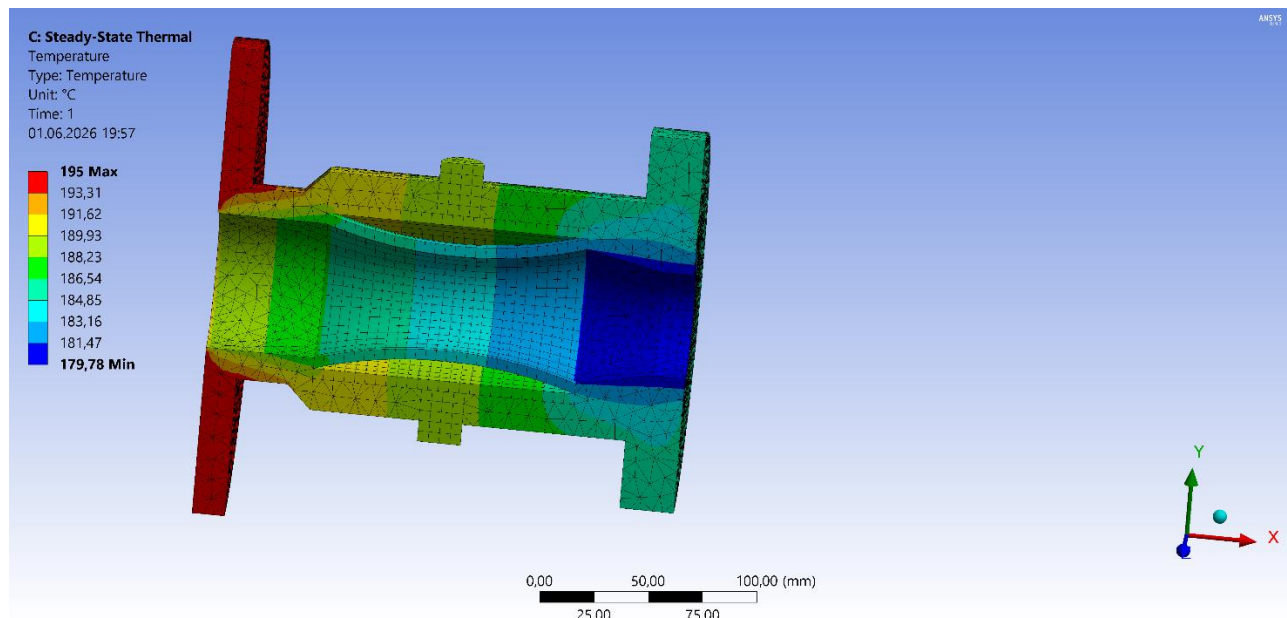


Рисунок 1 – Розподіл температури в формуючій головці

Для перевірки міцності та працездатності модернізованого вузла було виконано розрахунок у модулі Static Structural системи Ansys. В якості граничних умов було задано внутрішній тиск розплаву 2,24 МПа, примусове радіальне переміщення регульовальних штоків на 0,005 мм для деформації мембрани, жорстке защемлення (Fixed Support) вертикальної поверхні лівого фланця, а також силу тяжіння (Standard Earth Gravity) (рис. 2).

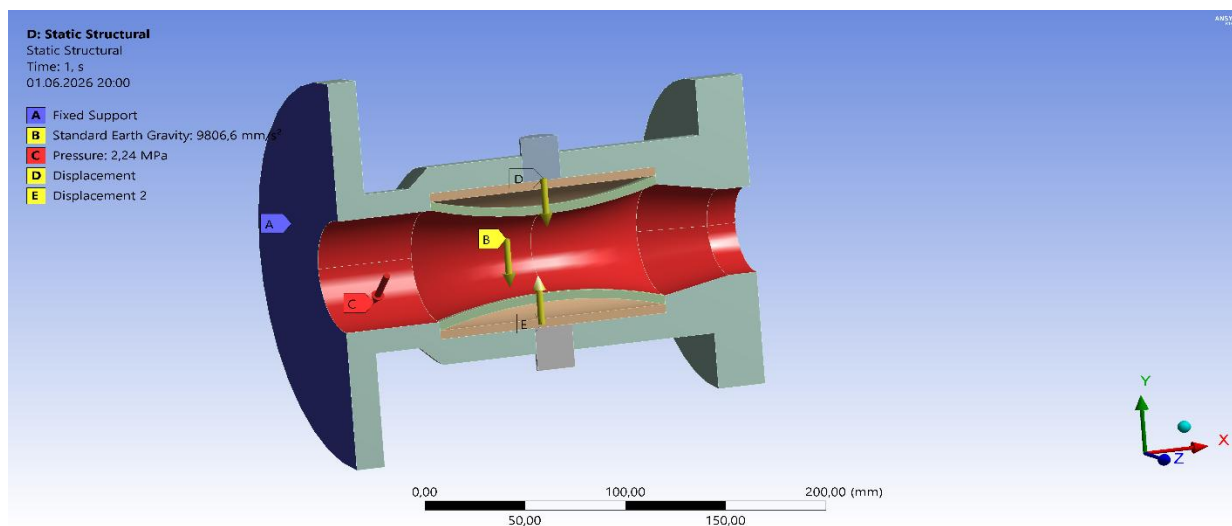


Рисунок 2 – Граничні умови

На рис. 3, рис. 4 і рис. 5 наведено результати розрахунку еквівалентних напружень, переміщень та деформацій.

Можна побачити, що в зоні штоків та мембран напруження тримаються в межах допустимих значень. Переміщення теж тримаються в межах допустимих значень, як і деформації.

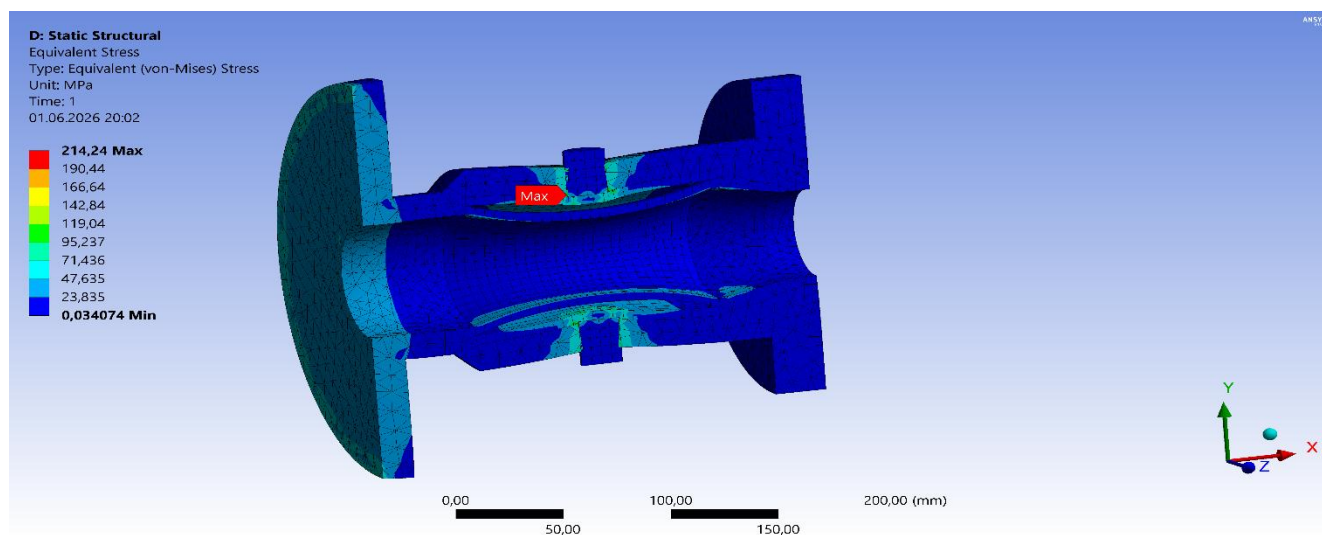


Рисунок 3 – Еквівалентні напруження

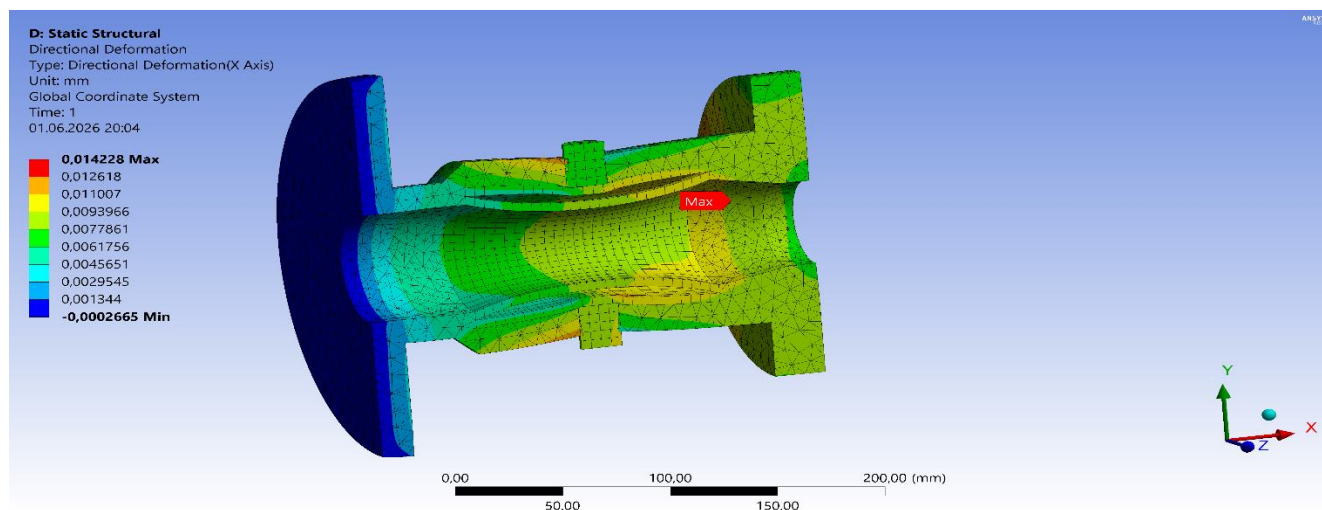


Рисунок 4 – Переміщення

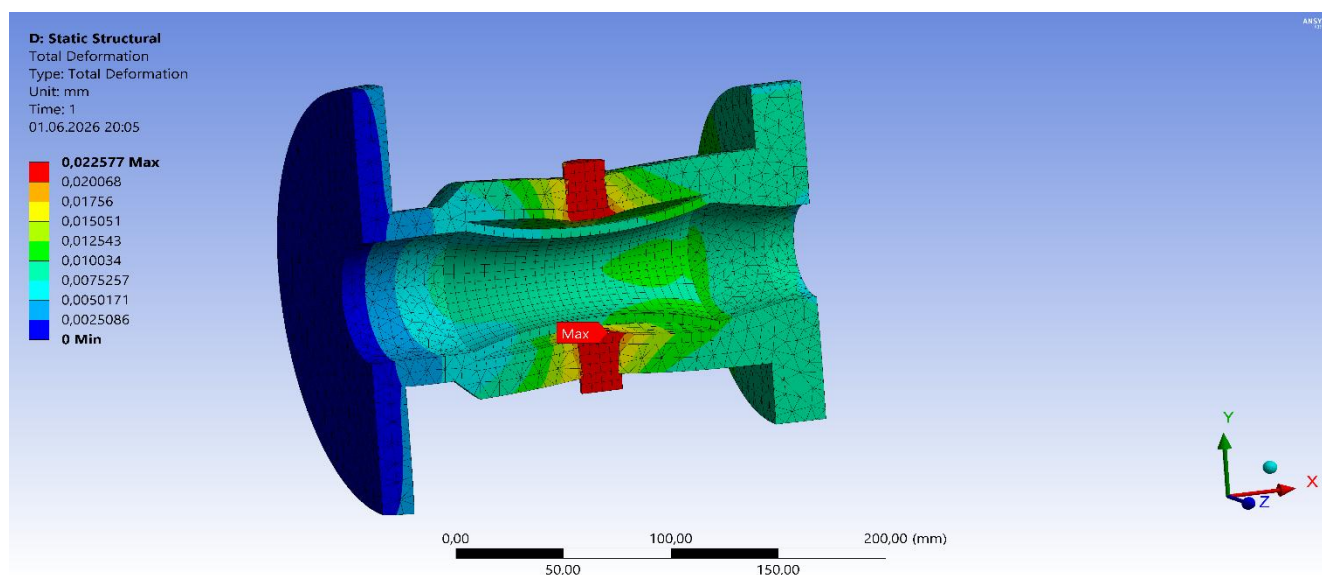


Рисунок 5 – Деформації

Висновки. Числовий розрахунок дав чітку уявлення про особливості напружено-деформованого стану конструкції. У робочій зоні пружних мембран та штоків еквівалентні напруження сягають 214,24 МПа, що загалом вписується в межі текучості матеріалів і підтверджує надійність вузла. Максимальне поздовжнє переміщення вихідного зрізу становить 0,014 мм, що відображає закономірне пружне «дихання» конструкції під дією робочого тиску розплаву ПВХ у 2,24 МПа. Загалом результати підтверджують міцність модернізованого автоматизованого регулювального вузла.

Перелік посилань

1. Екструзійне обладнання : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра / уклад.: В. І. Сівецький, О. Л. Сокольський, Д. Г. Швачко. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 144 с.
2. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів: навч. посіб. / І. О. Мікульонюк, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 200 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25367>
3. Пат. 155548 Україна, МПК В29С 48/00, В29С 48/30. Формуюча головка екструдера / Носко С. В. ; заявник і патентовласник КПІ ім. Ігоря Сікорського. – № u202304998 ; заявл. 24.10.2023 ; опубл. 06.03.2024, Бюл. № 10/2024.
4. Ansys : Engineering Simulation Software. URL: <https://www.ansys.com> (дата звернення: 18.05.2026).

Дослідження електричного стану робочої комірки печі Ачесона

Шилович І.Л., к.т.н., проф., Гроховецький В.С., асп.

Національний технічний університет України

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

Виконана оцінка розподілу струму в робочій комірці печі Ачесона. Показана суттєва нерівномірність підведення теплоти від зони протікання максимального електричного струму до заготовки, що графітується. Сформульована задача подальших досліджень і пошуку технічних рішень енергозберігаючих регламентів роботи печі Ачесона.

Ключові слова: коксова пересипка, піч Ачесона, керн, тепловіділяюча комірка, енергоефективність.

Вступ. В промисловості існує ряд технологій, які базуються на фізико-хімічних процесах високотемпературної обробки сировини з метою отримання штучних матеріалів з специфічними властивостями. До таких процесів відносяться, зокрема, виробництво карбіду кремнію (SiC) і штучного графіту. Фізико-хімічні перетворення сировинних матеріалів відбуваються в високотемпературних промислових печах Ачесона. Технологічні температури досягаються шляхом пропускання електричного струму через електропровідний шар з гранульованого коксу або графіту. Процес графітування циліндричних заготовок протікає при температурах близько (2700...2800) °С при виділенні джоулевої теплоти в процесі пропускання електричного струму більше 100 кА через прошарки коксової суміші [1–4]. На рис. 1 показана схема печі Ачесона для виробництва штучного графіту.

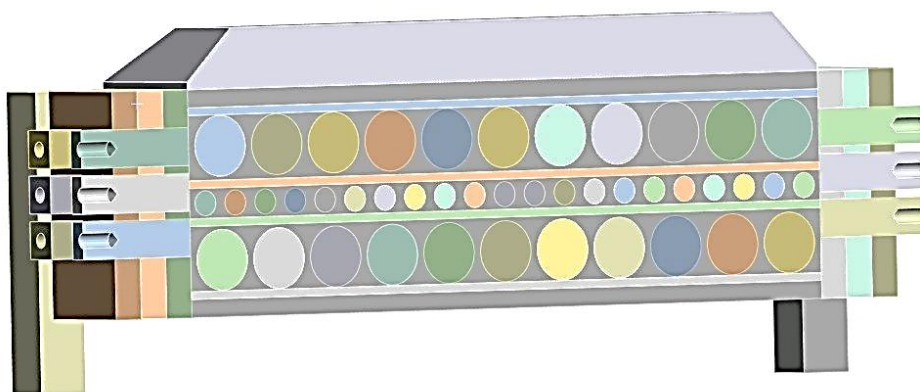


Рисунок 1 – Піч Ачесона графітування електродних циліндричних заготовок:

1 – струмопідводи; 2 – електродні заготовки для графітування; 3 – коксова тепловіділяюча пересипка; 4 – теплоізоляція верху печі

Спрощена схема електричного ланцюга печі Ачесона представлена на рис. 2. Питомий опір пересипки з коксу ρ_k набагато (більше, ніж у 10^3 разів) більший питомого електричного опору заготовок ρ_z . Вважається відповідно до основ електротехніки [5], що електричний струм I для послідовного ланцюга елементів буде однаковим як у коксовій комірці, так і в заготовці. Тоді більш інтенсивне виділення теплоти відбуватиметься саме в коксовій комірці.

Питомий опір пересипки з коксу ρ_k набагато (більше, ніж у 10^3 разів) більший питомого електричного опору заготовок ρ_z . Вважається у відповідності до основ електротехніки [5], що електричний струм I для послідовного ланцюга елементів буде однаковим як у коксовій комірці, так і в заготовці. Тоді, згідно залежності (1) більш інтенсивне виділення теплоти буде відбуватися саме в коксовій комірці, оскільки її опір R_k буде набагато більшим від опору заготовки R_z .

Проте, детальний аналіз електричних опорів елементів електричного ланцюга показує, що ряд особливостей власне електричних опорів викликає необхідність дослідження впливу на технологічний процес нагрівання таких факторів, як геометрія елементів електричного ланцюга, сутність гранулометрії пересипки, фактор контактних опорів і ін.

Актуальність такого дослідження пояснюється тим, що проблемою, яка існує при експлуатації печей непрямого нагріву Ачесона, є забезпечення рівномірності розподілу електричного струму для досягнення ефективного нагрівання заготовок і створення рівномірного температурного поля в процесі графітування.

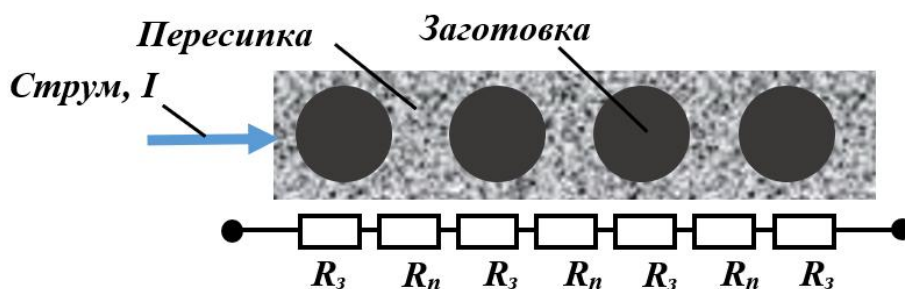


Рисунок 2 – Електрична схема печі Ачесона: R_z – електричний опір заготовки; R_p – електричний опір коксової пересипки

Зміст роботи. Деталізація робочої комірки печі свідчить про те, що процес нагрівання заготовок необхідно розглядати в першу чергу з урахуванням геометрії електричних опорів пересипки і заготовки. На рис.3 показано $\frac{1}{2}$ поперечного перетину двох симетрично розташованих заготовок в сипучому шарі коксової пересипки. Фізичний принцип розігріву полягає у виділенні джоулевої теплоти в робочій комірці. Як відомо з літератури [5] кількість виділеної теплоти в наслідок протікання електричного струму представляється формулою:

$$q = I^2 R, \quad (1)$$

де I – електричний струм, А; $R = \rho \frac{l}{S}$ – електричний опір провідника струму, Ом; ρ – питомий електричний опір матеріалу провідника, Ом·м; l – довжина провідника, м; S – поперечний перетин провідника, м².

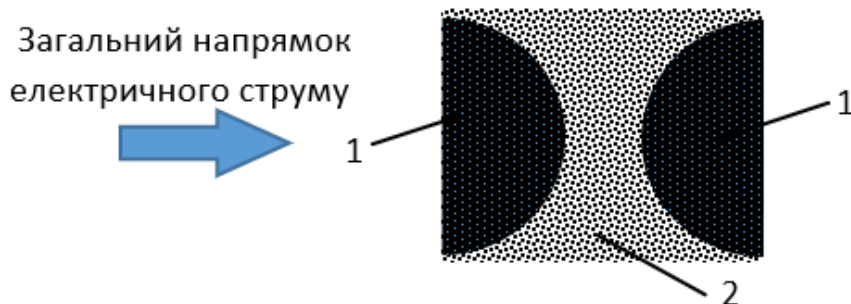


Рисунок 3 – Схема робочої комірки печі Ачесона: 1 – заготовка електрода; 2 – коксова пересипка

З огляду на особливості гранульованої структури електричного опору сипучого шару коксу, зрозуміло, що в комірці, заповненій масою, що складається з окремих часточок коксу, до того ж неправильної геометричної форми, важко чітко виділити лінійну складову загального електричного опору. Проте, з огляду на співвідношення розмірів окремої часточки коксу і лінійних розмірів робочої комірки, що складає, приблизно, $m = \frac{d_k}{L} = 0,1 \dots 0,02$ приємо припущення про рівномірний характер розподілу часточок в структурі сипучого шару. Теплогенеруюча комірка характеризується деяким узагальненим питомим опором ρ_{cp} . Для прийнятого припущення розглянута розрахункова схема для оцінки лінійного електричного опору пересипки в горизонтальному напрямку, тобто напрямку протікання струму. Розрахункова схема показана на рис.4.

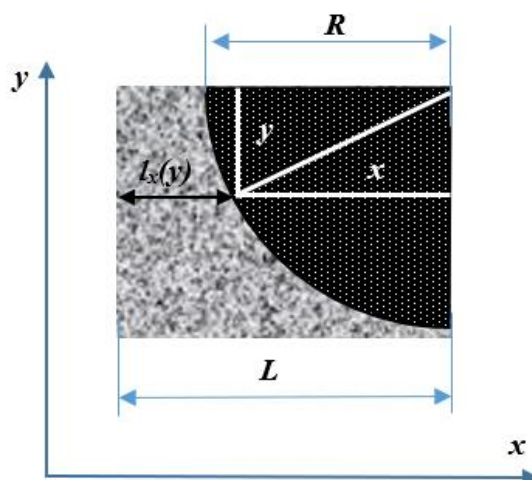


Рисунок 4 – Розрахункова схема лінійного електричного опору робочої комірки печі Ачесона

На рис.4 L – це технологічний параметр (шаблон), який встановлюється при розташуванні заготовок в печі; це відстань від серединного перетину комірки до центрального перетину заготовки. Поточне значення лінії електричного струму, який долає опір коксової пересипки на заданій відстані y позначене як $l_x(y)$. Радіус заготовки R . Зрозуміло, що довжина лінії струму буде визначатися як

$$l_x(y) = L - x \quad (2)$$

З математичного рівняння для кола $R^2 = x^2 + y^2$ виразимо взаємозалежність $x(y)$

$$x = \sqrt{R^2 - y^2} \quad (3)$$

Після підстановки (3) в (2) напишемо рівняння залежності лінійного електричного опору для коксової пересипки

$$R(y) = \rho \frac{l_x(y)}{S} \quad (4)$$

де $l_x(y) = L - \sqrt{R^2 - y^2}$; ρ - питомий електричний опір пересипки, Ом·м; S поперечний перетин виділеного шару пересипки, м².

При розрахунках поділимо висоту комірки на рівномірні інтервали, для кожного з яких розрахуємо $R(y)$. Приймаємо, що $\rho = \text{const}$; тоді розрахункова залежність має узагальнений вигляд $R(y) = C \cdot l_x(y)$. Для отриманих результатів залежності $R(y)$ розрахуємо розподіл струму по висоті комірки. Розрахунки виконані для приведеного радіусу заготовки і деякого узагальненого перепаду напруги по довжині комірки.

Результати розрахунку приведені на рис. 5. На графіку приведені узагальнені значення струму і висоти комірки. Масштабування до реальних параметрів не змінює фізичної суті отриманих результатів, які мають певну технічну інтерпретацію.

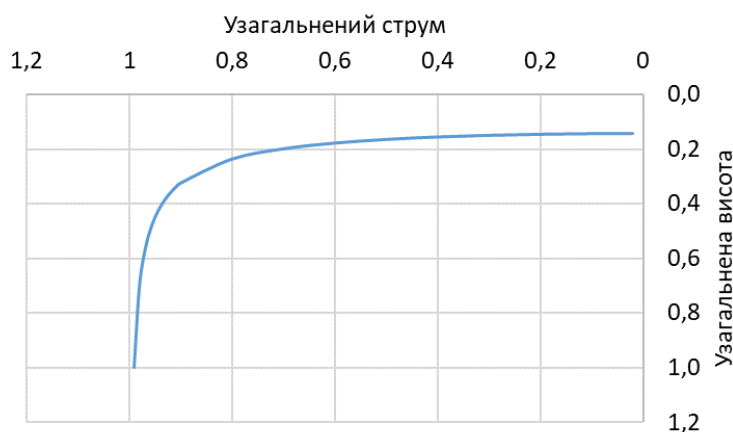


Рисунок 5 – Узагальнений струм по висоті комірки

Аналіз отриманих результатів показує, що найменший опір і, відповідно, найбільший струм локалізовані в області, яка займає приблизно 15% висоти комірки в найвужчому місці між заготовками.

Підтвердженням аналітичної моделі є результати моделювання електричного стану робочої комірки в програмі ANSYS (задача Electric). Результати моделювання приведені на рис. 6 і рис. 7.

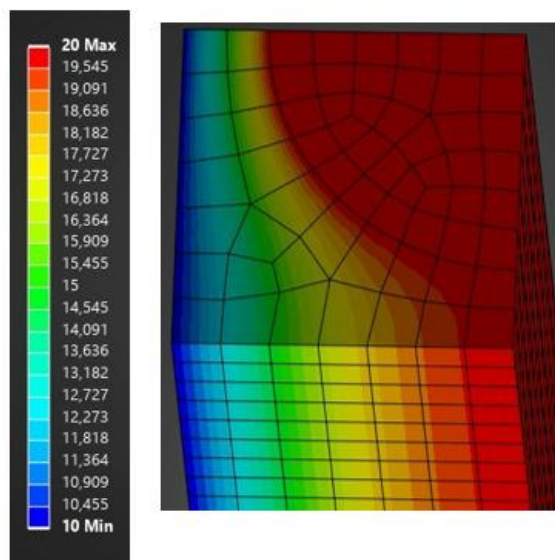


Рисунок 6 – Перепад напруги в комірці, В

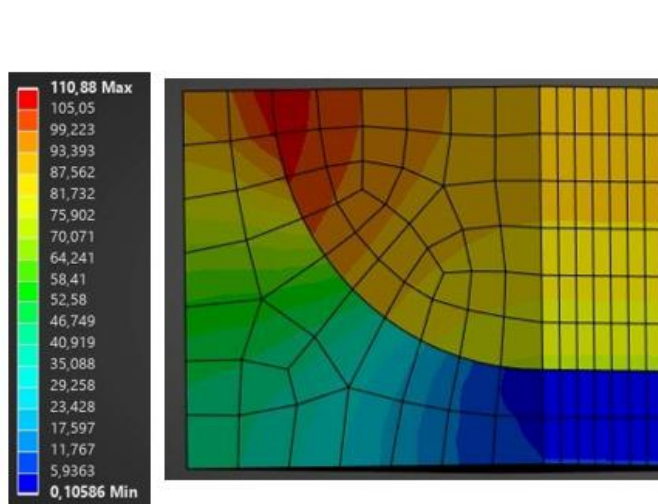


Рисунок 7 – Густина електричного струму, А/м²

Отримані результати моделювання співпадають з вихідними даними аналітичного розрахункового аналізу. На рис. 6 чітко видно, що найбільший градієнт напруги зосереджений в найбільш вузькому місці комірки, що викликає суттєве збільшення густини електричного струму в цій же області (рис. 7). З рис. 7 також добре видно, що найбільша густина струму зосереджена у верхній частині тіла заготовки, що свідчить про наявність нерівномірного прогрівання.

Висновки. Проведений аналіз розподілу електричного струму в робочій комірці печі Ачесона показує наявність суттєвої нерівномірності розподілу струму по висоті комірки. Ця особливість створює певні технологічні проблеми при нагріванні заготовок. На підставі виконаних розрахунків встановлено, що найбільші величини струмів зосереджені в області, що займає не більше 15% від висоти комірки. Скорочення поверхні нагріву впливає на його ефективність. Такий розподіл при нестационарному нагріві призводить до втрат енергії внаслідок збільшення часу нагрівання, що є предметом наступного етапу пошуку технічних рішень по інтенсифікації процесу нагрівання заготовок в печі Ачесона.

Перелік посилань

1. Ervin D. Industrial Chemical Process Design. New York : McGraw-Hill Education, 2014. 722 p.
2. Лелека С. В., Панов Є. М., Карвацький А. Я. та ін. Теплоелектричний стан печей графітування Ачесона : монографія. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 238 с.
3. Acheson Processes Basics. IPS Ceramics. URL: <https://ipsceramics.com/silicon-carbide/silicon-carbide-kiln-and-furnace-components> (дата звернення: 30.05.2025).
4. Graphitization Furnace. Carbolite Gero. URL: <https://ipsceramics.com/silicon-carbide/silicon-carbide-kiln-and-furnace-components> (дата звернення: 30.05.2025).
5. Співак В. М., Гуржий А. М., Нельга А. Т., Ітякін О. С. Загальна електротехніка і основи електроніки : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 266 с.

Дослідження модернізованої міжкамерної перегородки трубного млина

Панченко О.В., студ., Іваннікова К.Е., студ., Швачко Д.Г., PhD, доц.

Національний технічний університет України

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

У роботі проведено дослідження конструкції модернізованої міжкамерної перегородки, що функціонує в складі барабана трубного млина. Проведено порівняння базової та модернізованої моделей міжкамерної перегородки за деформаціями, еквівалентними напруженнями та коефіцієнтом запасу міцності. Результати чисельного моделювання підтвердили відповідність конструкції вимогам міцності та її здатність витримувати значні динамічні навантаження, що виникають під час роботи агрегату.

Ключові слова: трубний млин, барабан, міжкамерна перегородка, модернізація.

Трубні млини є основним обладнанням для тонкого помелу сировини в будівельній та хімічній галузях [1, 2]. Одним із критичних вузлів, що визначає продуктивність агрегату, є міжкамерна перегородка. Вона забезпечує розділення камер за ступенем подрібнення та регулює позовжне переміщення матеріалу вздовж осі барабана.

У звичайних перегородках подрібнений матеріал часто застрягає в щілинах, що знижує продуктивність і потребує зупинок барабана для очищення. Модернізована конструкція за рахунок конусної форми щілин забезпечує примусове продавлювання часток при кожному оберті, реалізуючи ефект самоочищення. Це дозволяє стабілізувати потік матеріалу, зменшити.

Метою роботи є порівняння базової та модернізованої міжкамерної перегородки для підтвердження її міцності в умовах інтенсивних навантажень.

Базова модель міжкамерної перегородки трубного млина виконана у вигляді плоскої конструкції, із паралельними перфорованими щілинами постійного перерізу. Така конструкція є простою у виготовленні, проте в процесі експлуатації вона зазнає інтенсивного абразивного та гідроабразивного спрацювання під дією постійного тиску великого об'єму подрібнюваного матеріалу та значних динамічних навантажень [3]. Головним конструктивним недоліком базової перегородки є регулярне заклинювання та забивання часток матеріалу в просіювальних щілинах. Це призводить до стрімкого зниження пропускної здатності решітки, порушення стабільності потоку сировини між камерами, падіння загальної продуктивності млина та викликає необхідність частих технологічних зупинок агрегату для примусового очищення.

Модернізована конструкція міжкамерної перегородки кардинально змінює геометрію робочої зони завдяки тому, що щілини зроблені конусної форми. Головною відмінною рисою модернізації є те, що перфоровані щілини виконані конусними – вони розширюються в бік виходу матеріалу, а їхній кут розхилу чітко регламентований і становить $10-28^\circ$ [4].

Для перевірки доцільності проведеної модернізації трубного млина здійснено статичне моделювання його базової та оновленої конструкцій. Порівняльний аналіз проводився за показниками максимальних загальних деформацій, еквівалентних напружень за Мізесом та мінімального коефіцієнта запасу міцності.

На рис. 1–3 наведено результати розрахунків для базової моделі барабану, відповідно рис. 1 – загальна деформація, рис. 2 – еквівалентні напруження, рис. 3 – запас міцності конструкції; на рис. 4–6 наведено результати розрахунків для модернізованої конструкції барабану, аналогічно.

Додатково результати порівняльного аналізу представлено в табл. 1.

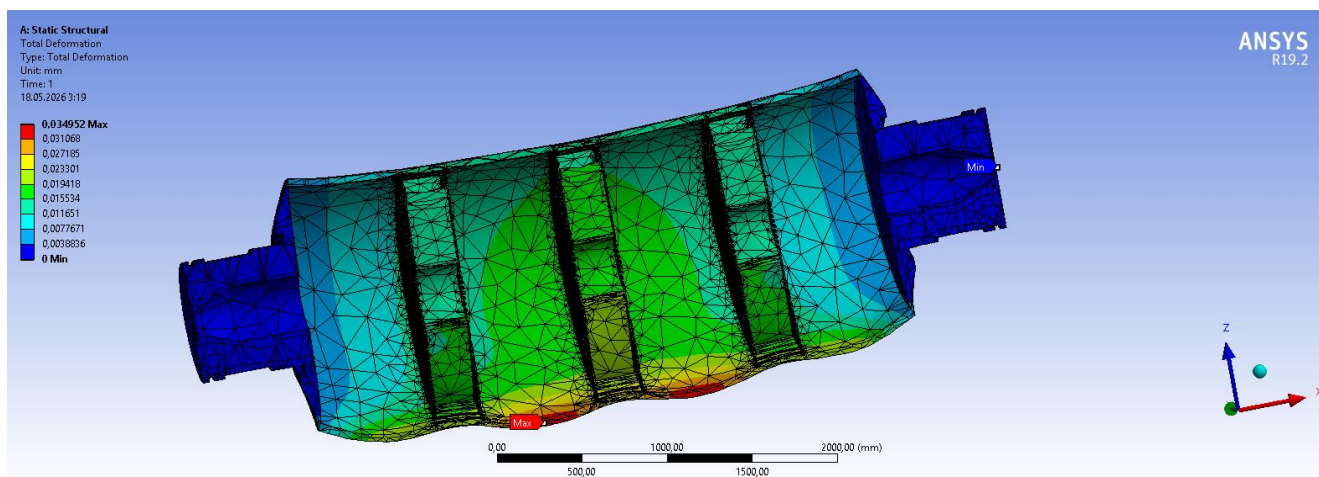


Рисунок 1 – Загальна деформація

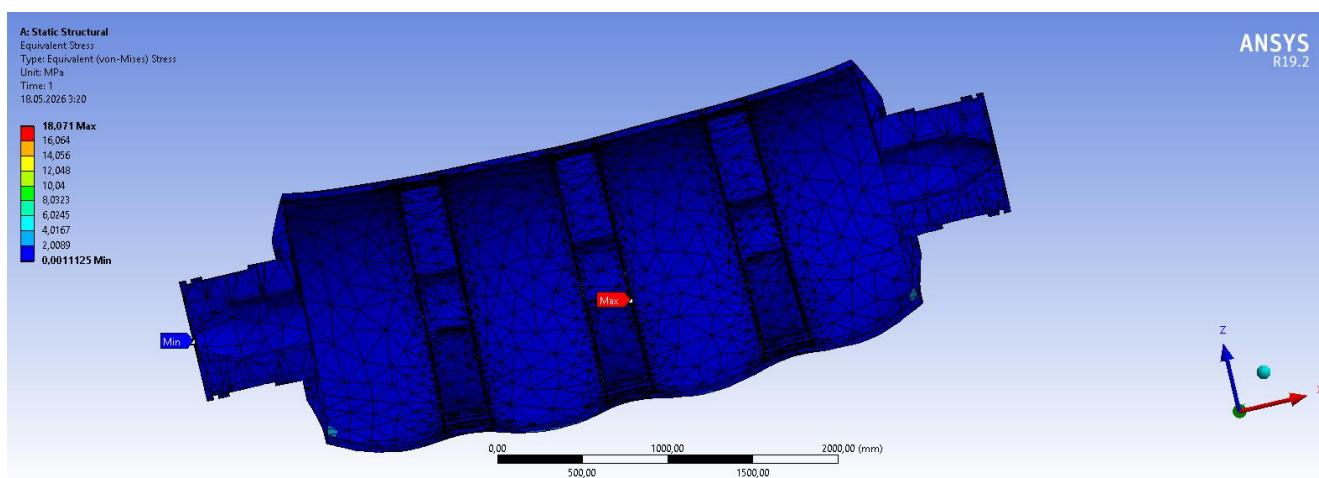


Рисунок 2 – Еквівалентні напруження

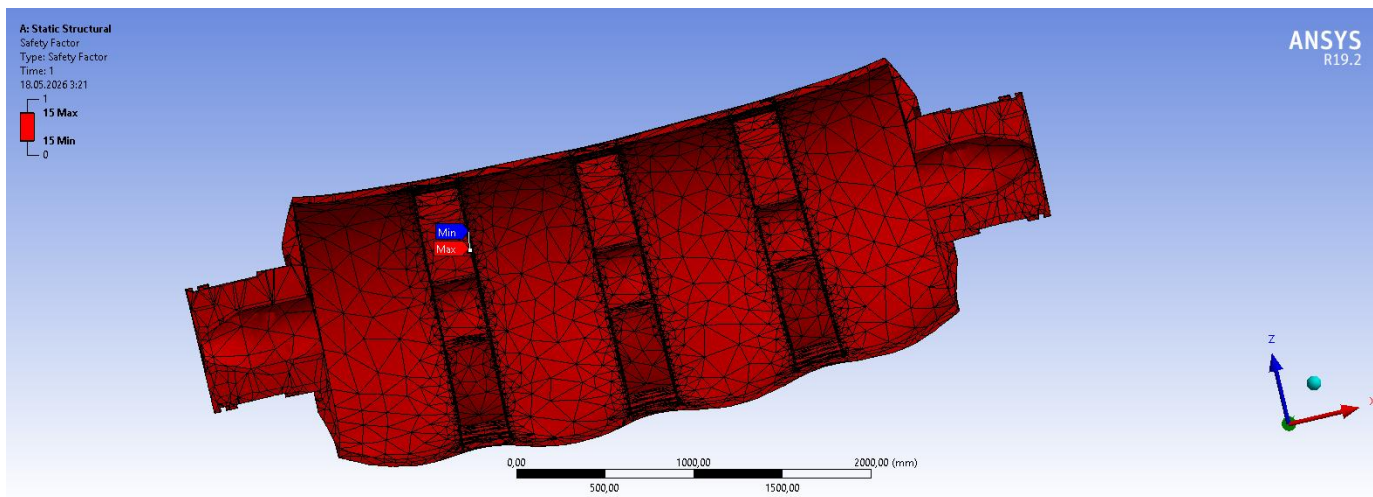


Рисунок 3 – Запас міцності конструкції

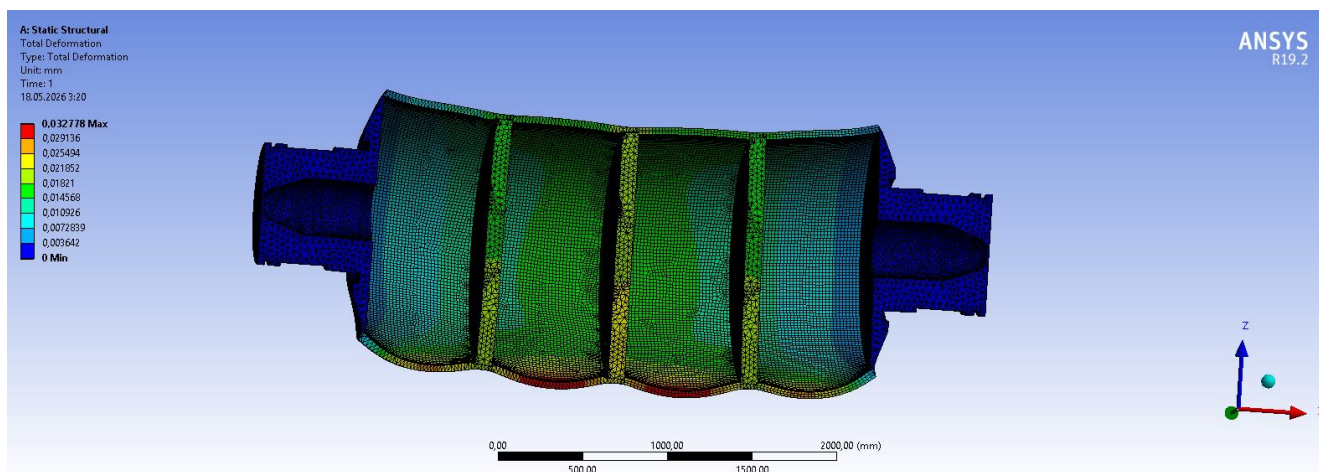


Рисунок 4 – Загальна деформація

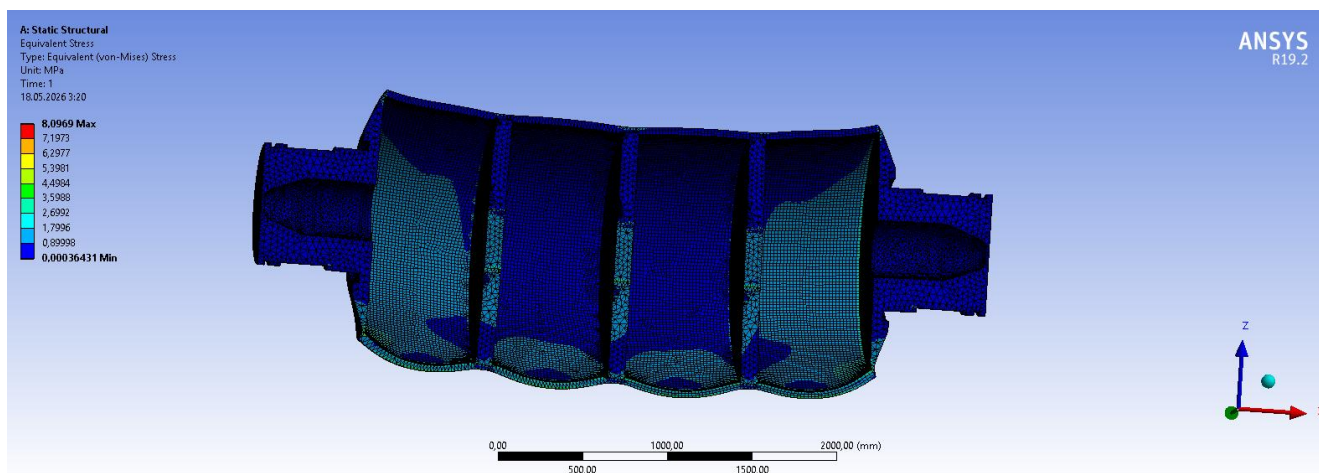


Рисунок 5 – Еквівалентні напруження

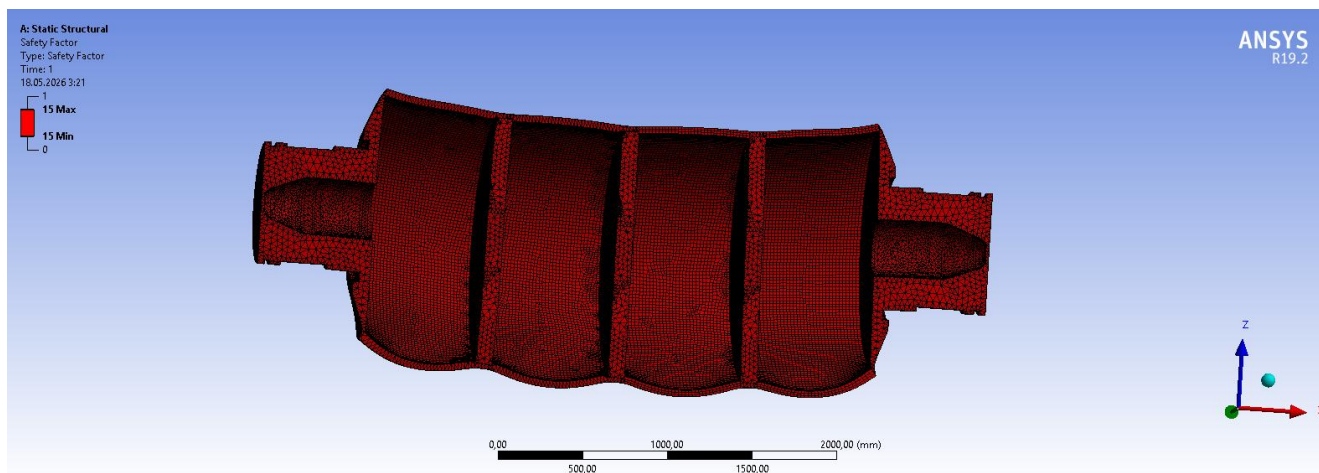


Рисунок 6 – Запас міцності конструкції

Таблиця 1 – Порівняння результатів статичного розрахунку базового та модернізованого барабану

Результат розрахунку	Базова модель	Модернізована модель	Зміна, %
Максимальна загальна деформація, мм	0,0349	0,0327	–6,30 %
Максимальні еквівалентні напруження за Мізесом, МПа	18,071	8,0969	–55,20 %
Мінімальний коефіцієнт запасу міцності	43,44	96,95	+123,18 %

Висновок. Проведено порівняння базової та модернізованої конструкцій міжкамерної перегородки багатокамерного трубного млина. Модернізована конструкція передбачає виконання перфорованих щілин конічними з розширенням у бік розвантаження та їхнє оптимальне розташування по радіусу, що дозволяє усунути забивання отворів, стабілізувати робочу площу живого перерізу та запобігти абразивному застряганню матеріалу всередині плити

За результатами порівняльного числового моделювання напружено-деформованого стану в середовищі ANSYS встановлено, що максимальна загальна деформація конструкції зменшилася з 0,0349 мм до 0,0327 мм (-6,30 %). Максимальні еквівалентні напруження за теорією Губера-Мізеса суттєво знизилися з 18,071 МПа до 8,0969 МПа (-55,20 %). Мінімальний коефіцієнт запасу міцності деталі значно збільшився із 43,44 до 96,95 (+123,18 %).

Отримані результати показують, що модернізована модель міжкамерної перегородки не лише зберігає, але й значно покращує свою працездатність та надійність за заданих умов навантаження. Зменшення загальної деформації свідчить про підвищення жорсткості вузла, що пояснюється раціональним перерозподілом силових навантажень по поверхні оновленої перегородки. Двократне зниження пікових еквівалентних напружень та стрімке зростання коефіцієнта запасу міцності доводять успішне усунення небезпечних концентраторів напружень. Усе це свідчить про технічну та доцільність запропонованої модернізації, яка забезпечує підвищення експлуатаційного ресурсу млина та прискоренню процесу подрібнення клінкеру без ризику руйнування обладнання.

Перелік посилань

1. Щербина В.Ю. Технологія виробництва матеріалів і виробів будівельного призначення. Щербина В.Ю., Швачко Д.Г., Гур'єва Л.Н. КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ. 2024. – 188 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66516>
2. Мікульонок І.О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв: підручник. Київ: НТУУ «КПІ», 2010. 412 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/2061>
3. Мала гірнича енциклопедія: у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2013. – Т. 3 (С-Я). – 644 с.
4. Патент України № 90518, МПК В02С 17/18. Розвантажувальна решітка барабанного млина / В. І. Дирда, В. О. Калашніков, А. П. Левицький та ін. – № u201400547; заявл. 20.01.2014; опубл. 26.05.2014, Бюл. № 10.

Модернізація натяжного пристрою пластинчастого живильника

Курлович О.А., студ., Стерпу А.Е. студ., Швачко Д.Г., PhD, доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано модернізацію натяжного пристрою пластинчастого живильника на основі конструкції з торсіонним валом, важелями та храповими механізмами. Технічне рішення спрямоване на забезпечення стабільного натягу тягового органу, зменшення впливу пилу та динамічних навантажень, а також підвищення надійності роботи вузла. Проведено параметричні та міцнісні розрахунки живильника, виконано побудову 3D-моделі у SolidWorks і числове моделювання торсіонного вала в ANSYS.

Ключові слова: пластинчастий живильник, натяжний пристрій, торсіонний вал, храповий механізм, SolidWorks, ANSYS.

Вступ. Пластинчасті живильники застосовуються для переміщення сипких, кускових та штучних вантажів у виробничих лініях. Одним із важливих вузлів такого обладнання є натяжний пристрій, який забезпечує необхідний натяг тягового органу та стабільну роботу конвеєра. Недостатній або нерівномірний натяг може призводити до пробуксовування, підвищеного зносу деталей та зниження надійності машини [1,2].

У традиційних конструкціях часто застосовують напрямні, повзуни, натяжні гвинти та різьбові пари. Такі елементи можуть швидко зношуватися під дією пилу, бруду та ударних навантажень. Тому доцільною є модернізація натяжного вузла за рахунок використання торсіонного вала, важелів і храпової фіксації, що дозволяє спростити обслуговування та підвищити ресурс роботи обладнання.

Виклад основного матеріалу. В основу модернізації покладено конструкцію натяжного пристрою, у якій на рамі встановлено обойми з кульковими підшипниками. У них обертається пучковий торсіонний вал, до кінців якого жорстко приєднані важелі та храпові механізми. На протилежних кінцях важелів розміщується вал натяжного барабана або зірочок, що забезпечує створення необхідного натягу тягового органу [1].

Модернізація полягає у заміні складного гвинтового натяжного механізму на вузол з торсіонним валом. Під час роботи до кінців вала прикладається крутний момент, унаслідок чого важелі переміщують натяжний елемент і створюють потрібне зусилля натягу. Після досягнення необхідного положення вал фіксується храповими механізмами. Це дає можливість регулювати натяг без значної кількості різьбових з'єднань і повзунів.

Для обґрунтування параметрів живильника виконано розрахунок за вихідними даними: продуктивність $10 \text{ м}^3/\text{год}$, довжина живильника 5 м , кут нахилу 12° , об'ємна маса матеріалу $1800 \text{ кг}/\text{м}^3$, швидкість руху полотна $0,1 \text{ м}/\text{с}$. За результатами розрахунку прийнято ширину пластин $0,8 \text{ м}$ та визначено основні зусилля в тяговому органі (рис. 1).

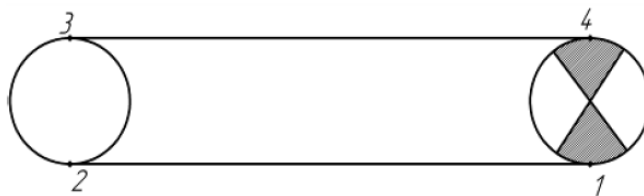


Рисунок 1 – Схема траси пластинчастого живильника з розрахунковими точками

Робота модернізованого вузла відбувається наступним чином. У статичному режимі торсіонний вал може перебувати у ненапруженому стані. Під час підготовки до роботи до кінців вала прикладається крутний момент, який через важелі створює натяг тягового органу. Храпові механізми фіксують положення вала та запобігають самовільному послабленню натягу. За потреби натяг можна збільшити або зменшити шляхом зміни прикладеного моменту.

У середовищі SolidWorks [3] було побудовано тривимірні моделі основних деталей: привідного вала, важелів, торсіонного вала, храпових елементів та загальної збірки вузла. Після накладання спряжень виконано перевірку на відсутність взаємних перетинів деталей, що підтверджує коректність побудови моделі та можливість її подальшого використання для інженерного аналізу (рис. 2).

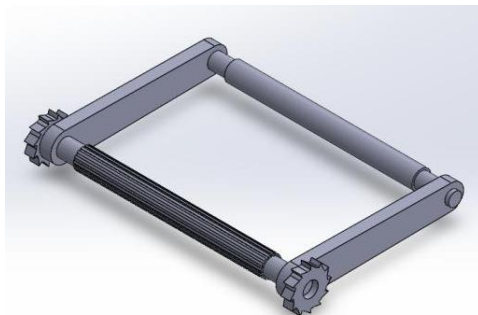


Рисунок 2 – Загальний вигляд збірки модернізованого вузла пластинчастого живильника

Результати моделювання

Для оцінювання працездатності модернізованого вузла було виконано розрахунки пластинчастого живильника та числове моделювання торсіонного вала [4]. Порівняння і оцінювання проводили за такими показниками: тягове зусилля, потужність привода, значення натягу в характерних точках, максимальна сумарна деформація, еквівалентна пружна деформація та коефіцієнт запасу міцності (табл. 1, рис. 3-8).

Таблиця 1 – Основні результати розрахунку пластинчастого живильника та торсіонного вала

Показник	Позначення	Значення	Одиниця
Продуктивність живильника	P_v	10	м ³ /год
Довжина живильника	L	5	м
Кут нахилу	β	12	град
Ширина пластин	B	0,8	м
Сила тиску на 1 м довжини полотна	q_1	490	Н/м
Тягове зусилля в ланцюзі	W_0	573,1	Н
Зусилля натягу в точці 2	S_2	9968	Н
Зусилля натягу в точці 3	S_3	10965	Н
Зусилля натягу в точці 4	S_4	11970	Н
Тягове зусилля на приводних зірочках	P	10193,5	Н
Потужність на вихідному валу	$P_{\text{вих}}$	1,02	кВт
Прийнята потужність електродвигуна	$P_{\text{дв}}$	1,5	кВт
Максимальна сумарна деформація	δ_{max}	0,252	мм
Максимальна еквівалентна пружна деформація	ε_{max}	0,00057	мм/мм
Мінімальний коефіцієнт запасу міцності	n_{min}	2,19	—

Отримані результати показали, що модернізована конструкція має достатню жорсткість і міцність для роботи під навантаженням. Максимальна сумарна деформація торсіонного вала становить 0,252 мм, що є допустимим для вузла даного типу. Максимальна еквівалентна пружна деформація становить 0,00057 мм/мм, а мінімальний коефіцієнт запасу міцності дорівнює 2,19. Це підтверджує працездатність конструкції та доцільність застосування торсіонного натяжного механізму.

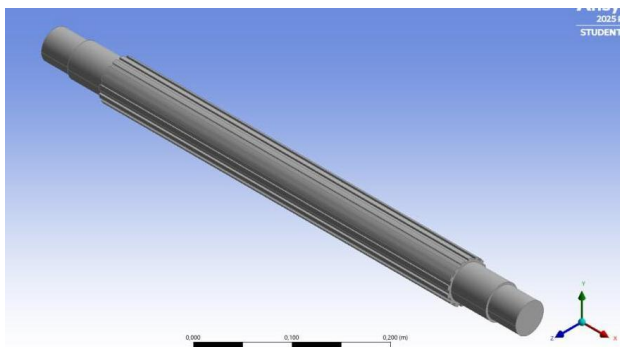


Рисунок 3 – Імпортована геометрія торсіонного вала в модулі ANSYS DesignModeler

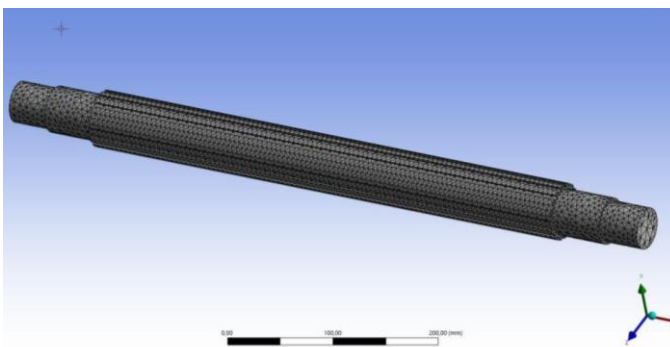


Рисунок 4 – Генерація скінченно-елементної сітки торсіонного вала з розміром елемента 5 мм

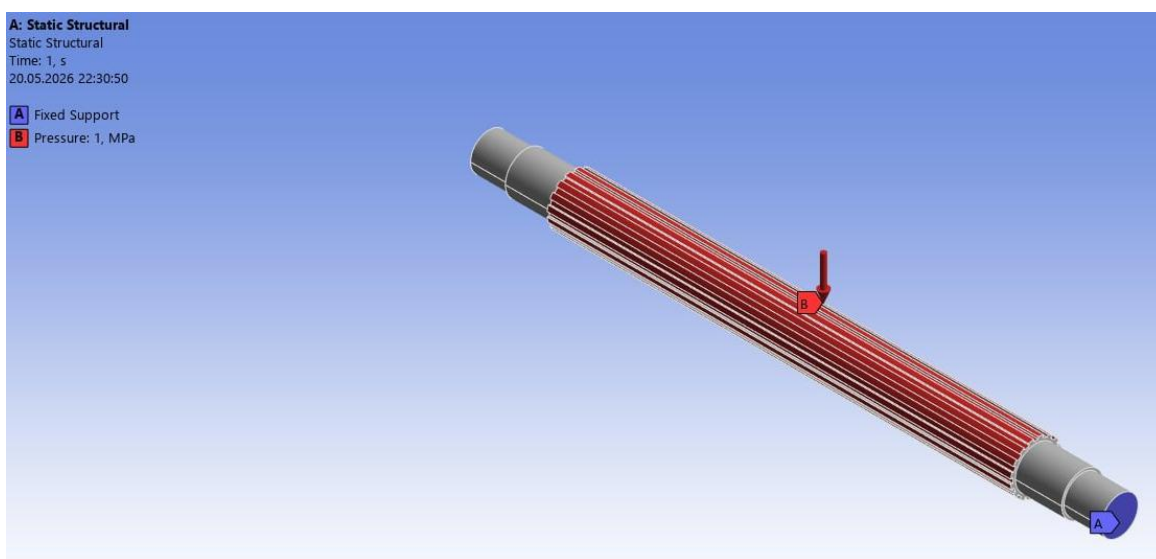


Рисунок 5 – Граничні умови розрахунку: закріплення та прикладене навантаження

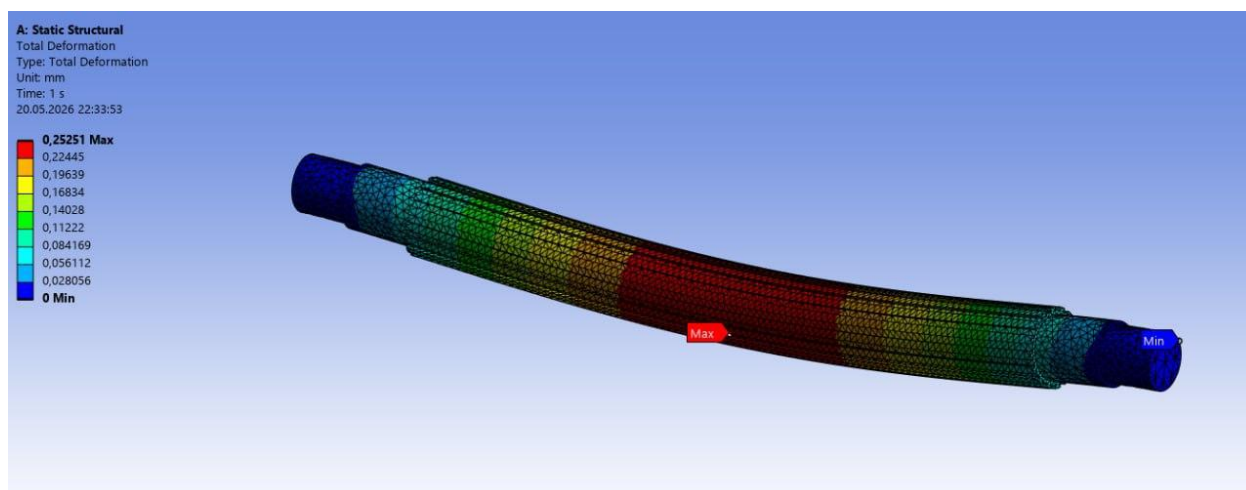


Рисунок 6 – Епюра сумарних деформацій торсіонного вала (Total Deformation)

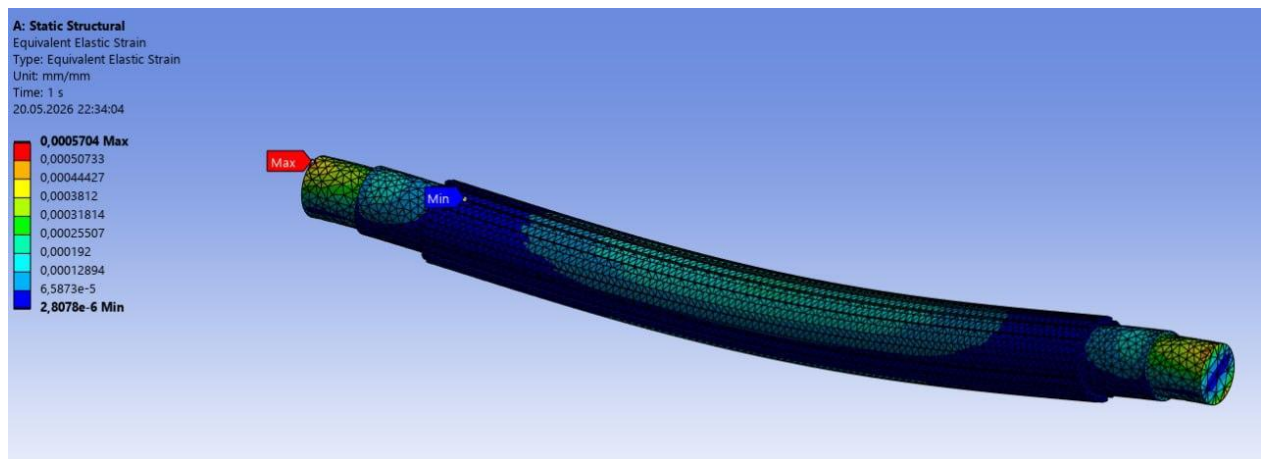


Рисунок 7 – Епюра еквівалентних пружних деформацій торсіонного вала (Equivalent Elastic Strain)

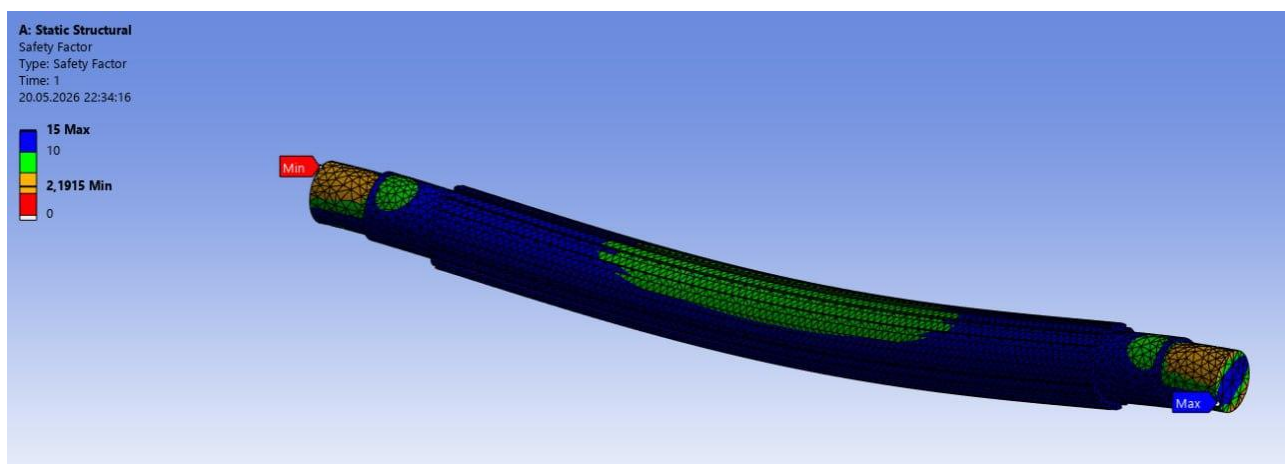


Рисунок 8 – Епюра коефіцієнта запасу міцності торсіонного вала (Safety Factor)

Висновок. Запропонована модернізація натяжного пристрою пластинчастого живильника дозволяє підвищити надійність роботи вузла за рахунок використання торсіонного вала, важелів та храпової фіксації. Таке рішення зменшує кількість різьбових і тертьових з'єднань, спрощує регулювання натягу та знижує ймовірність зношування елементів у запилених умовах експлуатації. Проведені розрахунки і числове моделювання підтверджують достатній запас міцності, працездатність конструкції та можливість її використання у складі пластинчастого живильника.

Перелік посилань

1. Технологія виробництва матеріалів і виробів будівельного призначення. Навчальний посібник [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. Ю. Щербина, Д. Г. Швачко, Л. Н. Гур'єва. – Електронні текстові дані (1 файл: 16,56 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 188 с. - Назва з екрана.
URI <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66516>
2. Патент України UA 153150 U. Натяжний пристрій стрічкового конвеєра / А.К. Сандлер, В.М. Богач; заявл. 12.12.2022; опубл. 24.05.2023, Бюл. № 21.
3. Dassault Systèmes. SolidWorks 2025 Documentation. – 2025.
4. ANSYS Inc. ANSYS Mechanical APDL Structural Analysis Guide. – Canonsburg : ANSYS Inc., 2024.

Удосконалення футерівки однокамерного млина

Шпак О.Л, студ., Яцук В.Д, студ., Мікульонок І.О., д.т.н., проф., Швачко Д. Г., PhD, доц.

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

Запропоновано футерувальну плиту барабанного млина, яка має форму прямокутника в плані та оснащена поздовжнім виступом на її робочій поверхні, розташованим на діагоналі плити. Це технічне рішення забезпечує неперервність сукупності поздовжніх виступів футерівки млина з утворенням неперервних гвинтоподібних виступів на внутрішній поверхні барабана, що знижує ймовірність пошкодження кінцевих ділянок поздовжнього виступу під час роботи млина, а також забезпечує надійне транспортування подрібненого матеріалу в напрямку місця розвантаження готового продукту, що знижує енергоємність процесу подрібнення. Проведені порівняльні розрахунки базової та модернізованої плит, які підтверджують ефективність запропонованої конструкції.

Ключові слова: кульовий млин, футерувальна плита, модернізація, поздовжній виступ, напружено-деформований стан.

Вступ. Кульові млини широко застосовуються для подрібнення матеріалів у хімічній промисловості та промисловості будівельних матеріалів. Основним захисним елементом барабана від зношування, який також формує траєкторію руху подрібнювального матеріалу, є футерівка барабана [1–5].

Найближчою до запропонованого технічного рішення є футерувальна плита барабанного млина, що має форму прямокутника в плані та оснащена поздовжнім виступом на її робочій поверхні, при цьому кінці поздовжнього виступу розташовані на коротких сторонах плити (пат. № RU2632893C1).

Виклад основного матеріалу. В основу запропонованого технічного рішення поставлено завдання вдосконалити футерувальну плиту барабанного млина, в якій нове конструктивне виконання забезпечує неперервність сукупності поздовжніх виступів футерівки барабанного млина з утворенням неперервних гвинтоподібних виступів на внутрішній поверхні барабанного млина, що істотно знижує ймовірність пошкодження кінцевих (торцевих) ділянок поздовжнього виступу під час роботи млина, а також забезпечує надійне транспортування подрібненого матеріалу в напрямку місця розвантаження готового продукту, що знижує енергоємність процесу подрібнення.

Поставлену задачу вирішують тим, що в шнеку преса, у футерувальній плиті барабанного млина, що має форму прямокутника в плані та оснащена поздовжнім виступом на її робочій поверхні, згідно з запропонованим технічним рішенням новим є те, що поздовжній виступ розташовано на діагоналі плити. У переважних прикладах виконання плити вона її виконано у вигляді паралелепіпеда або сектора прямого кільцевого кругового циліндра, а поздовжній виступ виконано хвилястим.

Футерувальна плита працює так (рис. 1). Після закріплення сукупності футерувальних плит на внутрішній поверхні барабана їхні поздовжні виступи утворюють неперервні гвинтоподібні виступи на внутрішній поверхні барабана, що істотно знижує ймовірність пошкодження кінцевих (торцевих) ділянок поздовжнього виступу плити під час роботи млина.

Під час обертання барабана поздовжні виступи поліпшують умови подрібнення, підвищують ліфтерну (підймальну) здатність футерівки, а також забезпечують надійне транспортування подрібненого матеріалу в напрямку місця розвантаження барабанного млина, що знижує енергоємність процесу подрібнення. Також щільне прилягання кінцевих (торцевих) ділянок сусідніх поздовжніх виступів істотно знижує ймовірність їх пошкодження під час роботи млина.

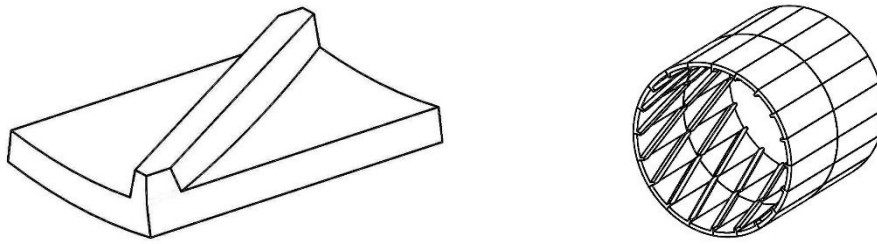


Рисунок 1 – Футерувальна плита барабанного млина (заявка № u 2026 01144)

Для оцінювання працездатності модернізації було виконано статичний розрахунок базової та модернізованої моделей футерувальної плити. Порівняння проводили за такими показниками: маса плити, максимальні загальна деформація й направлена деформація, максимальні еквівалентні напруження за Мізесом і мінімальний коефіцієнт запасу міцності (рис. 2, 3; табл.).

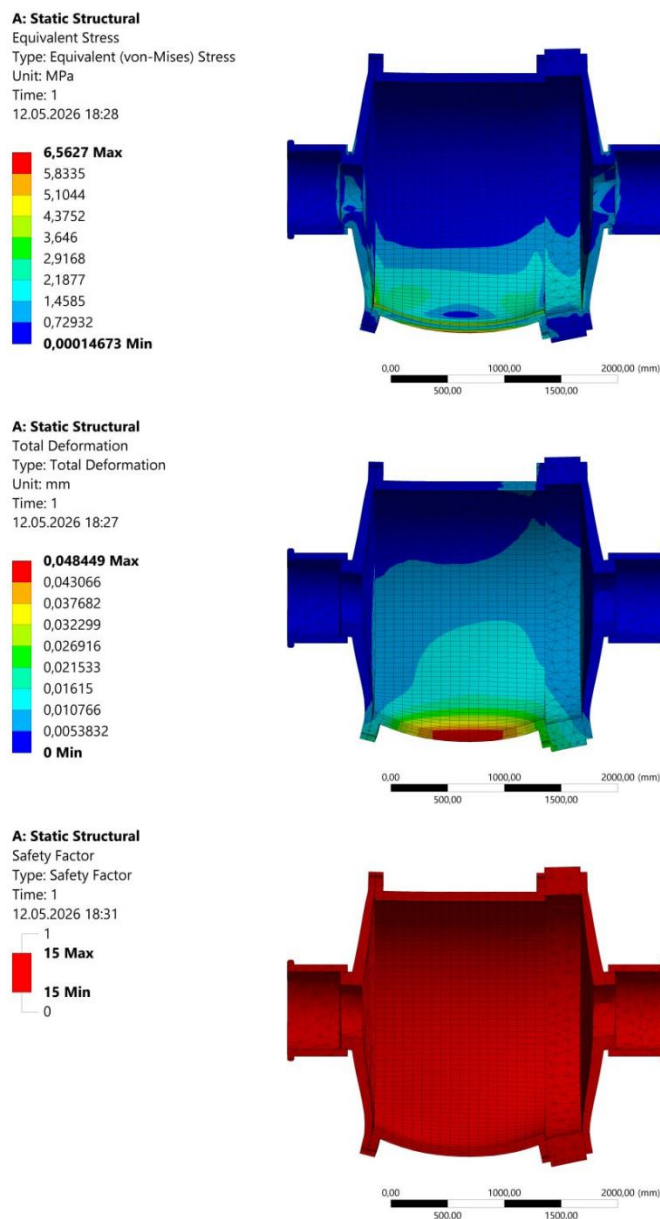


Рисунок 2 – Результати статичного розрахунку базової моделі плити

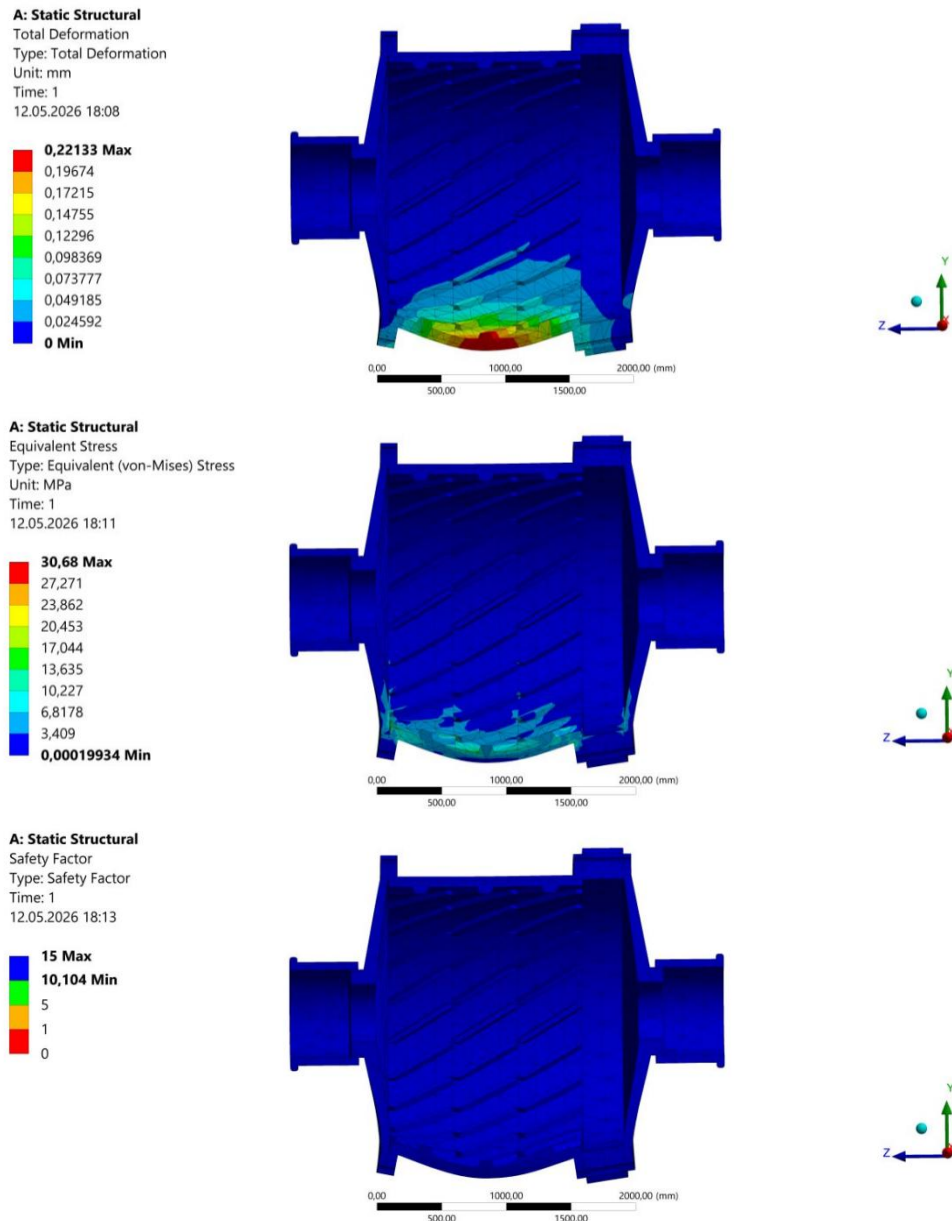


Рисунок 3 – Результати статичного розрахунку модернізованої моделі плити

Таблиця 4 – Порівняння результатів статичного розрахунку базової й модернізованої моделей плити

Результат розрахунку	Базова модель	Модернізована модель	Зміна, %
Загальна маса моделі, кг	5580	6040	+8.24
Максимальна загальна деформація, мм	0.048	0.221	+356.83
Максимальні еквівалентні напруження за Мізесом, МПа	6.56	30.68	+367.49
Мінімальний коефіцієнт запасу міцності	15.0	10.10	-32.64

За результатами порівняння встановлено, що маса модернізованої моделі збільшилася з 5580 кг до 6360 кг (+13,98 %), що зумовлено додаванням об'єму матеріалу для формування безперервного профілю. Максимальна загальна деформація конструкції збільшилася з 0,048 мм до 0,221 мм (+356,83 %), що пояснюється зміною геометрії та перерозподілом навантаження

безпосередньо на нові виступаючі елементи. Максимальні еквівалентні напруження за Мізесом зросли з 6,56 МПа до 30,68 МПа (+367,49 %), а мінімальний коефіцієнт запасу міцності зменшився з 15 до 10,10 (–32,64 %). Цей різкий скачок напружень має локальний характер: через специфіку роботи інструменту Line Pressure в ANSYS (рис. 5), додаткові грані та кути оновленого профілю футерівки виступають штучними концентраторами, приймаючи на себе пікові значення напружень, тоді як на основному тілі барабана критичних змін не відбувається.

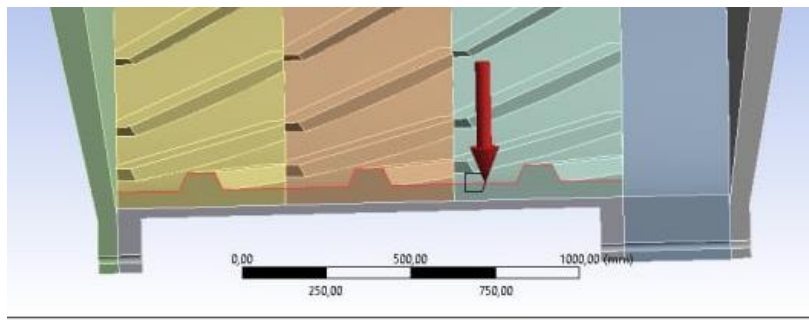


Рисунок 5 – Інструмент Line Pressure в ANSYS

Висновок. Пропоноване технічне рішення, яке є нескладним у виготовленні та зручним в експлуатації, підвищить ефективність і надійність роботи барабанного млина. Це особливо актуально для України, яка понад чотири роки потерпає від повномасштабної російської агресії, в результаті якої обсяг будівельних відходів і відходів руйнувань, які потребують перероблення, внаслідок систематичних руйнувань критичної та житлової інфраструктури постійно зростає [6, 7].

Перелік посилань

1. 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>
2. Мікульонюк І.О. Механічні процеси та обладнання виробництва полімерних і будівельних матеріалів і виробів. 5-те вид., перероб. та допов. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 102 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74513>
3. Mikulionok I.O. Classification of the Tumbling Bodies of Rattlers (Tumbling Barrels) (Survey of Patents) // Chemical and Petroleum Engineering. 2022. Vol. 57, № 9–10. P. 885–892. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-022-01021>
4. Мікульонюк І.О., Карвацький А.Я., Лелека С.В., Іваненко О.І. Подрібнювальні тіла барабанних млинів і дробарок (Огляд конструкцій) // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» : сер. «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». 2022. № 2(21). С. 9–21. DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-9741.2.2022.260339>
5. Müller A., Martins I. Recycling of Building Materials: Generation - Processing - Utilization. Wiesbaden : Springer Vieweg Wiesbaden, 2022. 356 p. DOI: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-34609-6>
6. Bonifazi G., Grosso C., Palmieri R., Serranti S. Current trends and challenges in construction and demolition waste recycling // Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry. 2025. Vol. 53. Article 101032. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2025.101032>
7. Мікульонюк І.О., Швачко Д.Г. Подрібнювачі будівельних відходів (Класифікація та огляд конструкцій) // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» : сер. «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». 2026. № 1(25). С. 9–27. DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2026.354343>

Оцінка напружено-деформованого стану вдосконаленої конструкції черв'яка екструдера

Іванюк О.Є., студ., Витвицький В.М., PhD, ас., Мікульонок І.О., д.т.н., проф.

Національний технічний університет України

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

Робота присвячена комп'ютерному моделюванню та аналізу міцнісних характеристик модернізованого черв'яка одночерв'ячного екструдера, оснащеного вдосконалим змішувальним наконечником, у середовищі скінченно-елементного аналізу ANSYS.

Ключові слова: екструзійне обладнання, черв'як, змішувальний елемент, профіль Рело, напруження, скінченно-елементний аналіз.

Вступ. Ефективність перероблення полімерних композицій і якість кінцевої трубної продукції безпосередньо залежать від конструктивних особливостей основного робочого органу екструдера – черв'яка. Традиційні одночерв'ячні машини часто не забезпечують належного рівня гомогенізації розплаву через відсутність змінного градієнта швидкості зсуву в зоні дозування [1, 2].

З метою інтенсифікації диспергувального змішування та уникнення термічної деструкції матеріалу запропоновано вдосконалення базової конструкції наконечника черв'яка за рахунок впровадження спеціального знімного наконечника, поперечний переріз якого виконано у вигляді многокутника Рело [3]. Така конфігурація генерує плавний пульсуючий вплив на розплав, суттєво покращуючи його структурну однорідність перед формувальною головкою [4], що важливо для виготовлення полімерних труб, зокрема армованих волокнами [5].

Основна частина. Для підтвердження експлуатаційної надійності запропонованого технічного рішення [3] було здійснено порівняльний розрахунок на міцність базової та вдосконаленої конструкції. Проектування 3D-моделей виконувалось в SolidWorks, числовий розрахунок був виконаний в розрахунковому модулі Static Structural комплексу ANSYS Workbench.

Граничні умови чисельного розрахунку імітували реальні режими роботи для сценарію виготовлення полівінілхлоридових труб діаметром 40 мм і товщиною стінки 2 мм:

- діаметр черв'яка 45 мм, загальна довжина 1520 мм;
- наконечник черв'яка виготовлений у вигляді многокутника Рело з п'ятьма гранями [3];
- жорстке закріплення хвостовика черв'яка у зоні шпонкового з'єднання з приводом;
- термосилове навантаження: температурний градієнт уздовж осі від 20 до 170 °С, а

також осьове навантаження $P_{oc} = 17767,3$ Н і крутний момент $M_{кр} = 1254900$ Н · мм, прикладені до поверхонь гвинтової нарізки та наконечника (розрахункові значення);

– фізико-механічні властивості матеріалу черв'яка і наконечника Сталь 38ХМЮА з такими властивостями: модуль пружності під час розтягу $E = 2,1$ МПа; коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,3$; густина $\rho = 7710$ кг/м³; границя плинності під час розтягу $\sigma_T = 835$ МПа.

За результатами симуляції було отримано схеми розподілу напружень та деформацій для обох конструкцій. На рис. 1–4 наведено результати виконаного числового моделювання, а саме еквівалентні напруження за Мізесом (МПа) базової (рис. 1) та модернізованої (рис.3) конструкції черв'яка, а також загальні деформації (мм/мм) базової (рис. 2) і модернізованої (рис. 4) конструкції черв'яка.

Згідно з результатами розрахунку максимальні еквівалентні напруження для базової конструкції (рис. 1) досягають значення $\sigma_{max} = 483,26$ МПа. Відповідний коефіцієнт запасу міцності дорівнює

$$n = \sigma_T / \sigma_{max} = 835 / 483,26 = 1,72$$

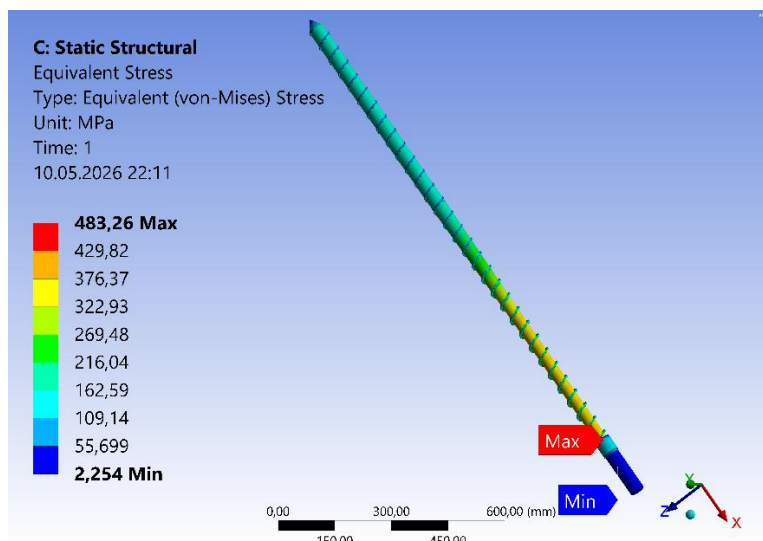


Рисунок 1 – Розподіл еквівалентних напружень у базовій конструкції, МПа

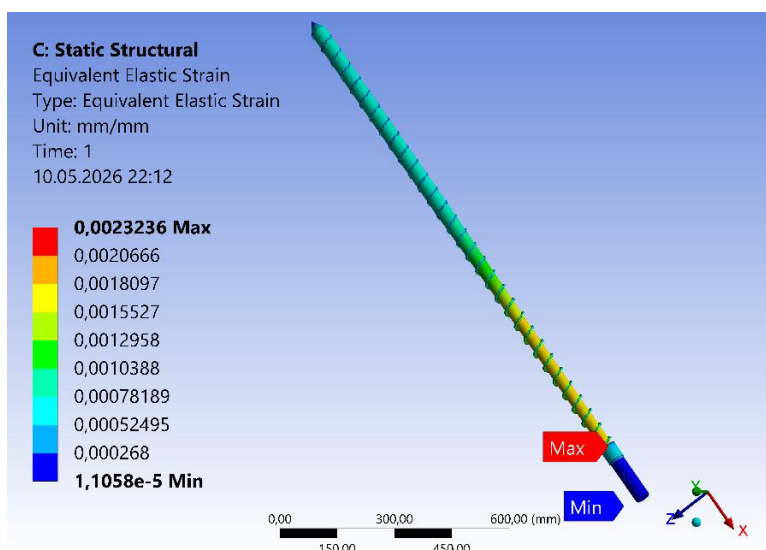


Рисунок 2 – Поле пружних деформацій базової конструкції, мм/мм

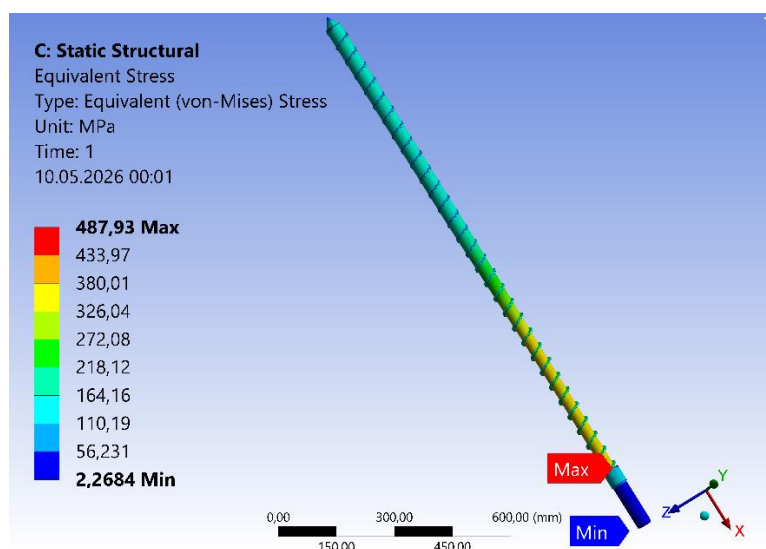


Рисунок 3 – Розподіл еквівалентних напружень у модернізованій конструкції, МПа

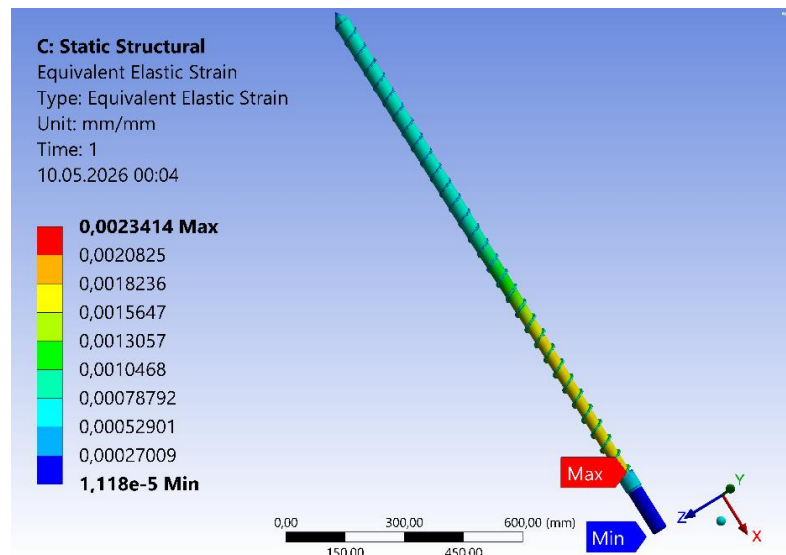


Рисунок 4 – Поле пружних деформацій модернізованої конструкції, мм/мм

Водночас для модернізованого варіанта черв'яка з наконечником Рело (рис. 3) пікові напруження локалізуються в зоні посадки насадки і становлять $\sigma_{max} = 487,93$ МПа. Коефіцієнт запасу при цьому становить

$$n = \sigma_T / \sigma_{max} = 835 / 487,93 = 1,71.$$

Максимальні значення пружних деформацій склали 0,0023236 мм/мм для черв'яка базової конструкції (рис. 2) та 0,0023414 мм/мм для модернізованої (рис.4).

Виконання знімного змішувального елемента у вигляді многокутника Рело з п'ятьма гранями спричинила лише незначне зростання локальних напружень (з 483,26 до 487,93 МПа), що спричинено появою конструктивних концентраторів напружень. Одночасно коефіцієнт запасу міцності $n = 1,71$ перевищує нормативне мінімально допустиме значення $[n] = 1,6$.

Висновки. На основі проведеного числового розрахунку перевірено міцність та жорсткість модернізованого черв'яка екструдера. Встановлено, що використання змішувального наконечника у формі многокутника Рело не призводить до критичного зниження несучої здатності конструкції. Водночас, запропоноване вдосконалення дасть змогу генерувати нестаціонарні зсувні деформації у полімерному розплаві, тим самим вирішуючи проблему його якісної гомогенізації, при збереженні високих показників експлуатаційної надійності обладнання.

Перелік посилань

1. Витвицький В. М., Мікульонюк І. О. Моделювання процесу живлення черв'ячного екструдера полімерною сировиною. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 136 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41177>
2. Мікульонюк І. О. Технологія перероблення полімерів. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 314 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74268>
3. Черв'як екструдера: заявка u202601854 Україна: МПК (2026.01) B29C 48/505; заявл. 31.03.26
4. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів / І. О. Мікульонюк, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 200 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25367>
5. Віктор Витвицький, Олександр Сокольський, Ігор Мікульонюк (2026). Числовий аналіз граничної несучої спроможності полімерних труб, армованих неперервними поздовжніми волокнами // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, 2, 1 (156), 83-90 <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2026.1.2.10>

Дослідження напружено-деформованого стану корпусу екструдера

Шапран Д.Р., студ., Швець Д.А., студ., Витвицький В.М., PhD, ас., Мікульонок І.О., д.т.н., проф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Проведено дослідження напружено-деформованого стану корпусу екструдера з використанням програмного комплексу ANSYS.

Ключові слова: черв'ячний екструдер, корпус, проектування, моделювання.

Вступ. Корпус екструдера є одним із основних елементів конструкції, що забезпечує необхідні умови для транспортування, ущільнення та плавлення полімерного матеріалу. Саме в його межах розташовуються основні робочі вузли, а також підтримуються температурні та силові параметри, необхідні для стабільного перебігу процесу екструзії [1].

Зростання вимог до продуктивності та довговічності обладнання обумовлює необхідність удосконалення конструкції корпусів екструдерів. Основними напрямками їх модернізації є підвищення їхніх зносостійкості, механічної міцності та ефективності теплообміну. Конструктивне виконання корпусу визначається особливостями перероблюваного полімеру та технологічними умовами виробництва, що забезпечує можливість застосування екструдерів для виготовлення різноманітної полімерної продукції. Удосконалення конструкції корпусів сприяє підвищенню надійності роботи обладнання, зменшенню експлуатаційних витрат і покращенню техніко-економічних показників виробництва [2–4].

Основна частина. Для порівняльної оцінки двох різних конструкцій корпусу екструдера, а саме базової та модернізованої за заявкою [5], у програмному забезпеченні SolidWorks було спроєктовано 3D-модель базового корпусу, яку далі було завантажено до CAE-системи ANSYS Workbench для проведення числового розрахунку методом скінченних елементів.

Для оцінки міцності корпусу проведено числовий розрахунок за таких умов:

- довжина корпусу 1400 мм, зовнішній діаметр 225 мм, внутрішній діаметр (під черв'як) 90 мм;
- жорстке закріплення у місцях монтажного кріплення фланців корпусу до опорної конструкції;
- до внутрішніх поверхонь корпусу прикладено тиск величиною 50 МПа, який імітує тиск матеріалу під час роботи екструдера і є достатнім навантаженням для більшості реальних випадків та підходить для тесту моделі корпусу на міцність [4];
- температурний градієнт уздовж осі від 60 до 145 °С по внутрішній поверхні і 62 до 147 °С по зовнішній поверхні як термосилове навантаження;
- фізико-механічні властивості задавались різні, залежно від матеріалу виготовлення окремих складових деталей конструкції корпусу: корпус – сталь 40Х, гільза – сталь 40ХН2М2, фланці – сталь 45, з відповідними границями плинності під час розтягу $\sigma_T = 980, 1080$ і 600 МПа.

Було виконане числове моделювання, а саме перевірка на міцність базової моделі корпусу екструдера під дією описаних навантажень і визначено напружено-деформований стан конструкції. На рис. 1–2 наведено результати проведеного моделювання базової конструкції корпусу, а саме еквівалентні напруження за Мізесом (МПа) (рис. 1), загальні переміщення (мм) (рис. 2) і загальні деформації (мм/мм) (рис. 3).

Проведення числових розрахунків модернізованої конструкції [5] заплановано для подальших досліджень, наразі виконано 3D-модель модернізованого корпусу (рис. 4).

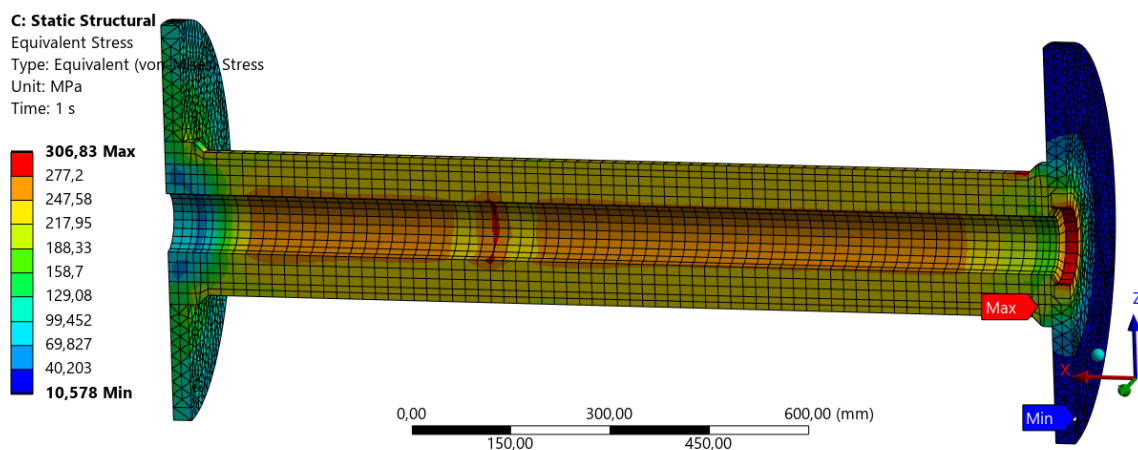


Рисунок 1 – Еквівалентні напруження за Мізесом базової конструкції, МПа

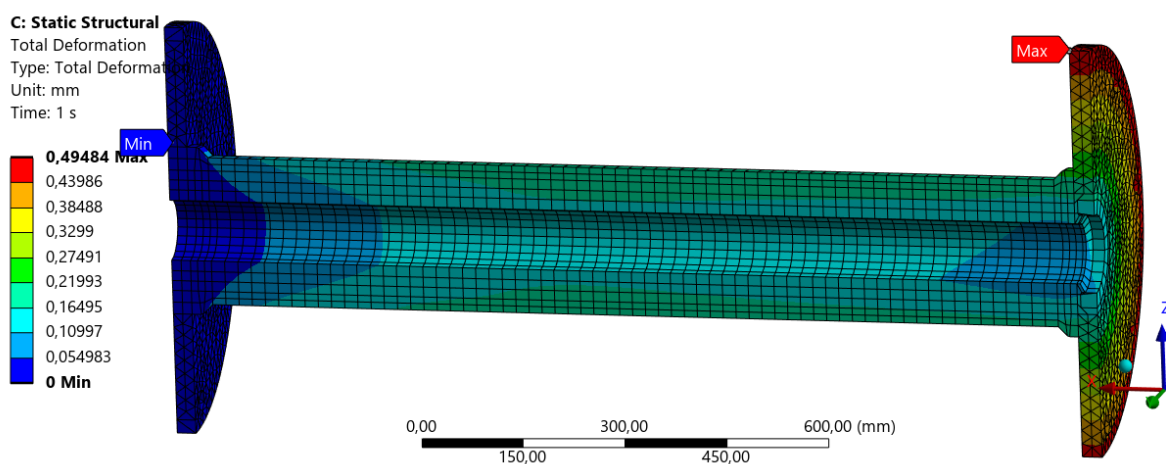


Рисунок 2 – Загальні переміщення базової конструкції, мм

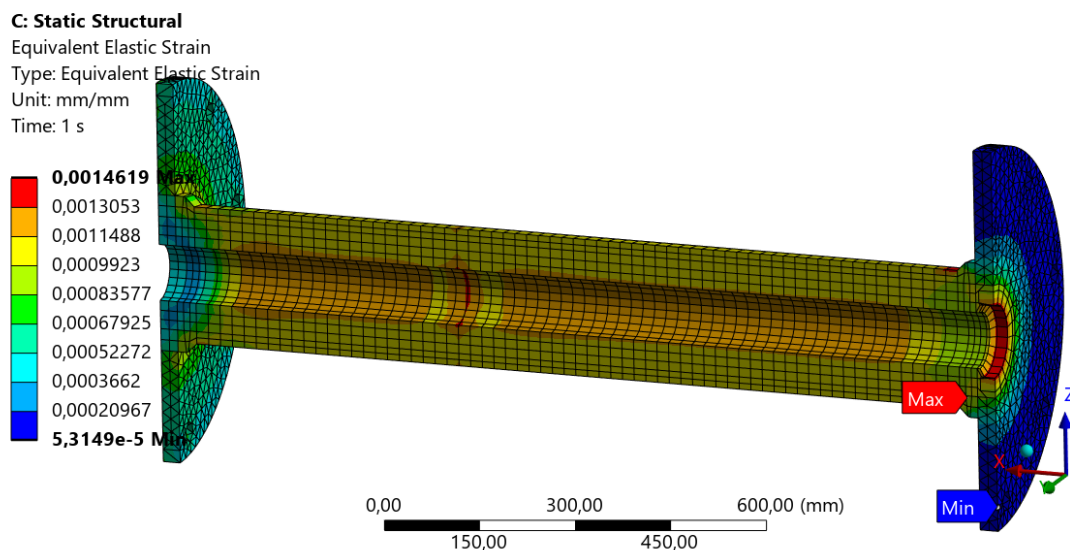


Рисунок 3 – Еквівалентна пружна деформація, мм/мм

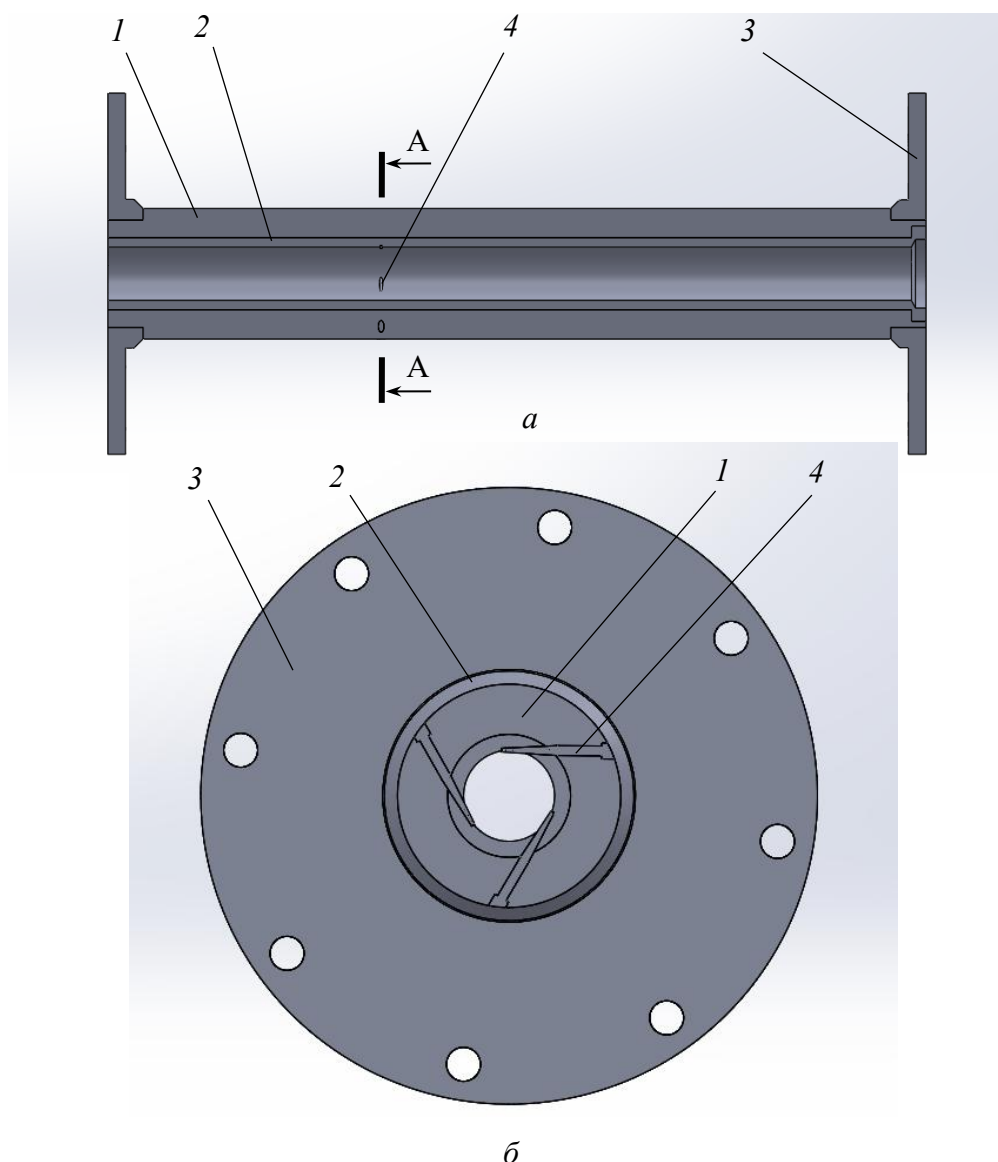


Рисунок 4 – Модернізований корпус: *а* – вид збоку; *б* – поперечний розріз А-А (по місцю розташування штифтів): 1 – корпус, 2 – гільза, 3 – фланці, 4 – штифти

За результатами розрахунку напружено-деформованого стану базової конструкції корпуса екструдера встановлено, що максимальні еквівалентні напруження за Мізесом (рис. 1) становлять $\sigma_{max} = 306,8$ МПа. Границя плинності під час розтягу для конструкції (обраховане значення) складає $\sigma_T = 497$ МПа, а запас міцності конструкції в такому випадку складає

$$n = \sigma_T / \sigma_{max} = 497 / 306,83 \approx 1,62$$

Найбільш навантаженими ділянками є зони переходу від циліндричної частини корпуса до фланців, де спостерігається концентрація напружень, обумовлена зміною геометрії конструкції та особливостями закріплення. Основна частина корпуса, в зоні робочої камери, працює в умовах значно менших напружень. Найменший запас міцності спостерігається в зонах концентрації напружень поблизу фланцевих з'єднань, що відповідає характеру розподілу еквівалентних напружень. Водночас отримане значення перевищує мінімально допустимий рівень $[n] = 1,6$ для даного типу конструкцій, що свідчить про відсутність ризику руйнування за заданих умов навантаження.

Аналіз переміщень (рис. 2) показав, що максимальне переміщення конструкції становить 0,495 мм. Найбільші переміщення спостерігаються у вільній частині корпуса та фланця, тоді як

у зоні закріплення їх значення наближаються до нуля. Отримані результати свідчать про високу жорсткість конструкції, оскільки навіть під дією прикладених навантажень величина переміщень залишається незначною порівняно з габаритними розмірами корпусу.

Розподіл еквівалентних пружних деформацій (рис. 3) підтверджує характер зміни напруженого стану конструкції. Максимальне значення пружної деформації становить 0,00146 мм/мм та локалізується в тих самих зонах концентрації напружень поблизу фланцевих з'єднань. У більшій частині корпусу значення деформацій є істотно меншими, що вказує на переважно пружний характер роботи та відсутність ознак пластичного деформування.

Висновки. Результати числового аналізу, виконаного в програмному комплексі ANSYS, свідчать про відповідність базової конструкції корпусу екструдера вимогам міцності та жорсткості за заданих умов навантаження.

Незважаючи на наявність локальних зон концентрації напружень, їх розташування має обмежений характер і не впливає суттєво на загальну працездатність конструкції. Незначні переміщення та помірні значення пружних деформацій свідчать про можливість надійної експлуатації корпусу в умовах тривалої роботи екструдера.

Мінімальний коефіцієнт запасу міцності становить 1,62, що свідчить про наявність необхідного резерву міцності для безпечної експлуатації обладнання.

Перелік посилань

1. Витвицький В. М., Мікульонок І. О. Моделювання процесу живлення черв'ячного екструдера полімерною сировиною. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 136 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41177>
2. Rauwendaal C. Polymer extrusion. 5th ed. Munich : Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2014. 950 p. URL: <https://doi.org/10.3139/9781569905395>
3. Мікульонок І. О. Технологія перероблення полімерів. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 314 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74268>
4. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів / 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>
5. Шнековий прес: заявка u202601851 Україна: МПК (2026.01) B29C 48/68, B29C 48/685; заявл. 31.03.26.

Дослідження руйнування матеріалів методами молекулярної динаміки з використанням силового поля ReaxFF

Витвицький В.М., PhD, ас., Походенко О.Т., асп., Карвацький К.Ю., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

За допомогою програмного забезпечення AMSjob досліджено на атомістичному рівні динамічне руйнування листа графену і зразка поліетилентерефталату з використанням реактивного силового поля ReaxFF. Виконано оцінку величини напруження під час руйнування матеріалів в наближенні пружного стану. Показано, що представлений підхід може бути використано для дослідження границі міцності кристалічних і аморфних матеріалів.

Ключові слова: молекулярна динаміка, силове поле, руйнування, модуль пружності, напруження, границя міцності.

Вступ. Наразі для дослідження на атомістичному рівні тріщиноутворення і руйнування матеріалів дістали широкого застосування методи молекулярної динаміки (МД) [1–4] з використанням силового поля ReaxFF [5].

Основна частина. Для дослідження руйнування матеріалів методами молекулярної динаміки використано програмне забезпечення AMSjob [4]. В основу алгоритма МД моделювання покладено приклад деформування графенового листа шляхом удару по його поверхні молекулою фулерена C_{60} з пружним відскоком.

Для атомістичного дослідження процесу руйнування матеріалів використано лист графену [6] і зразок поліетилентерефталату (ПЕТ) [7]. Результати вказаних досліджень наведено на рис. 1–3.

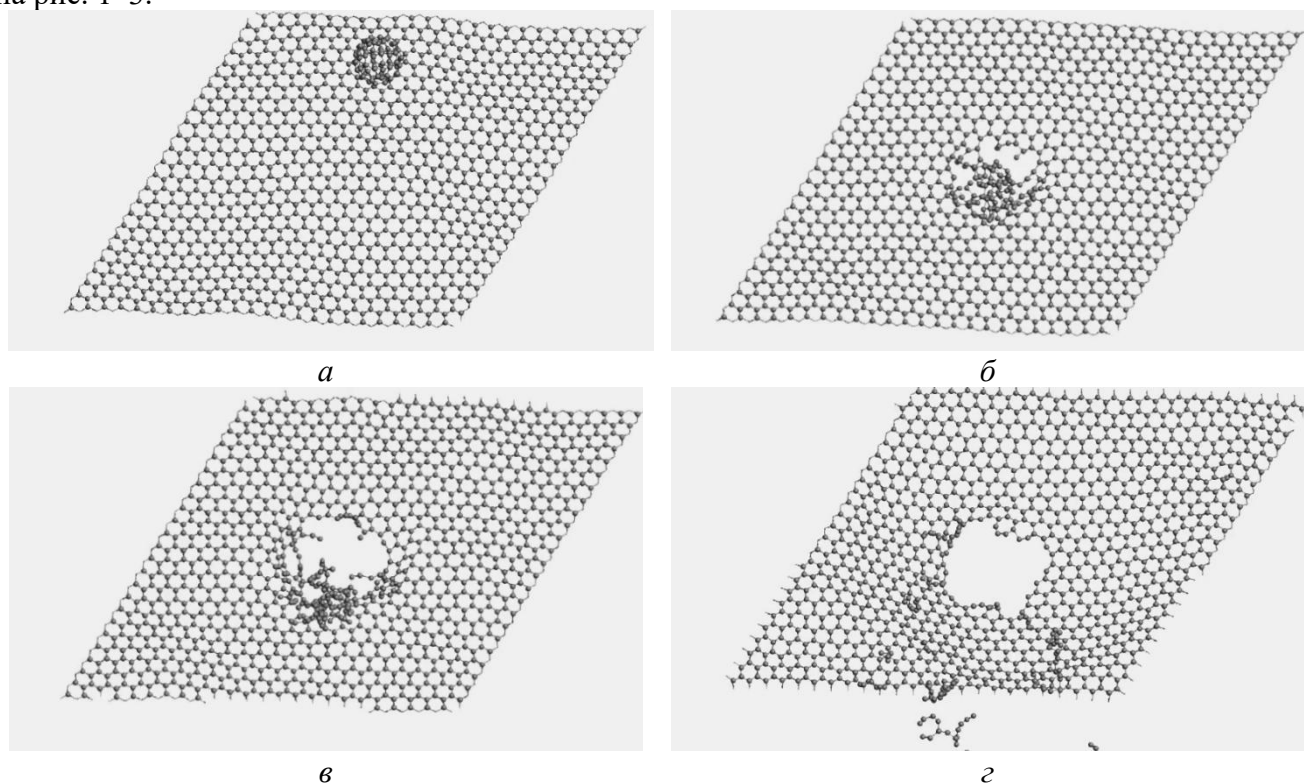


Рисунок 1 – Динаміка руйнування листа графену шляхом удару молекулою фулерену C_{60} з початковою швидкістю $0.15 \frac{\text{\AA}}{\text{фс}}$ в різні моменти часу: а – 50 фс; б – 300 фс; в – 1000 фс; з – 1700 фс

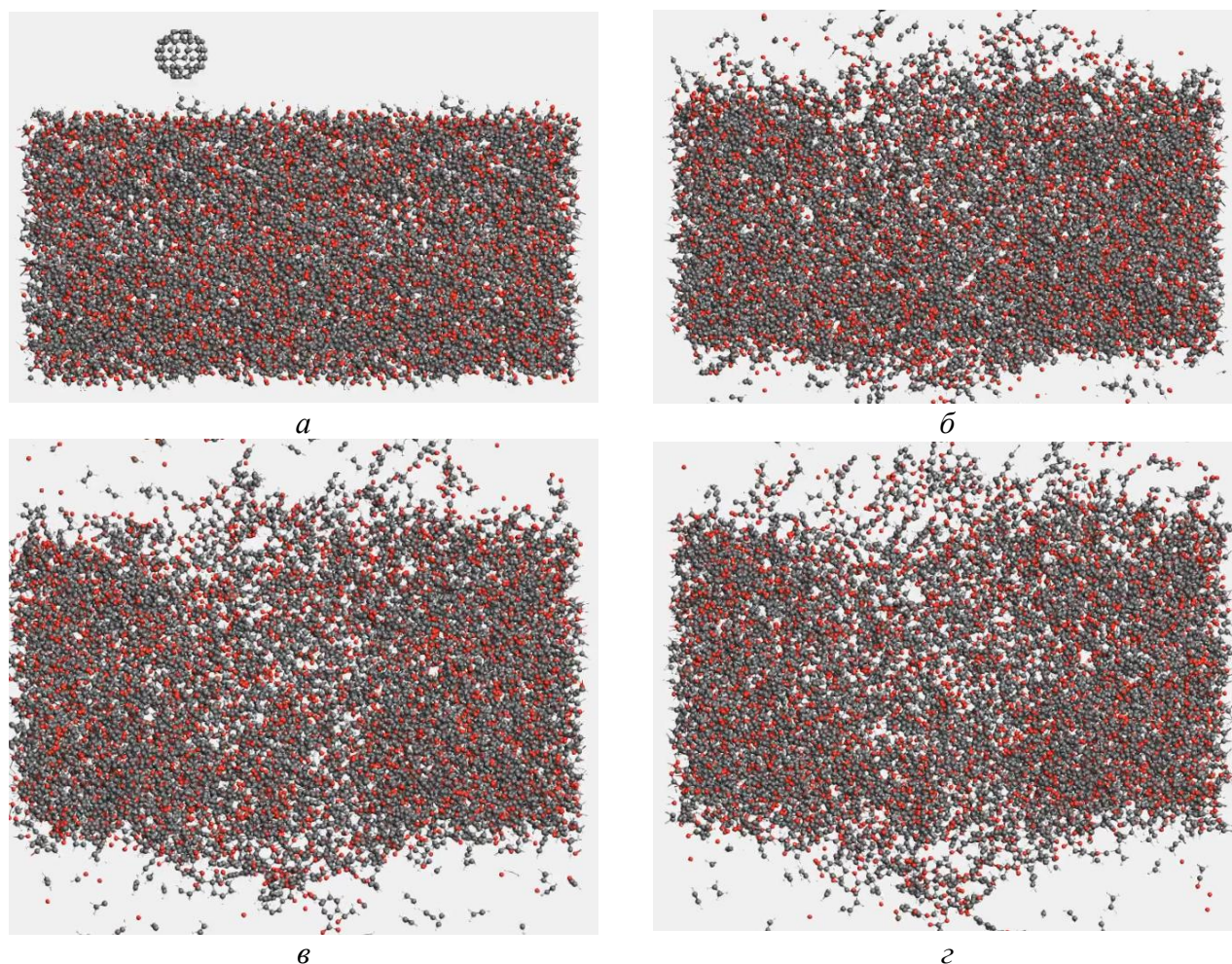


Рисунок 2 – Динаміка руйнування зразка ПЕТ шляхом удару молекулою фулерену C_{60} з початковою швидкістю $0.15 \frac{\text{\AA}}{\text{фс}}$ в різні моменти часу: *a* – 70 фс; *б* – 2000 фс; *в*– 3000 фс; *г* – 4000 фс

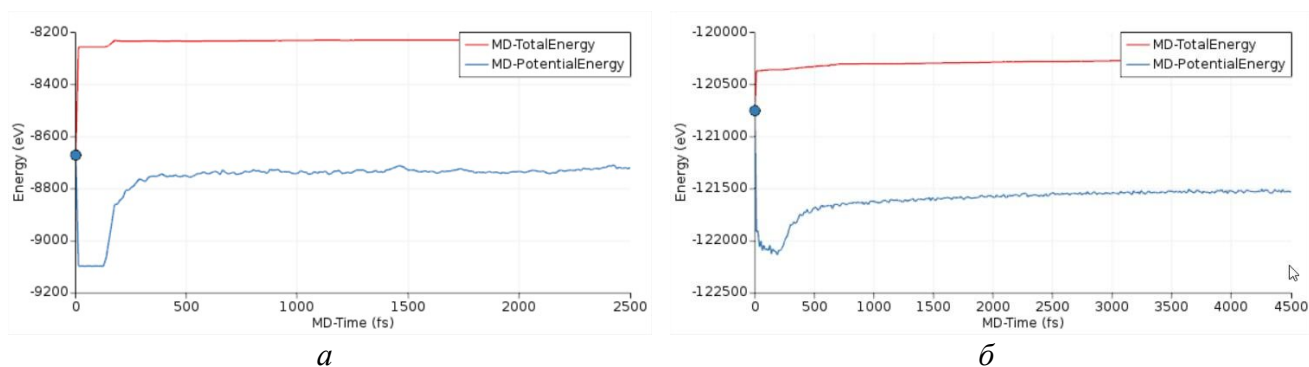


Рисунок 3 – Графіки зміни повної і потенційної енергії під час руйнування листа графену (*a*) і зразка ПЕТ (*б*)

Процес деформування листа графену до моменту руйнування характеризується пружною поведінкою (рис. 1), а ПЕТ – в'язко-пружно-пластичною (рис. 2).

В МД від'ємна енергія (рис. 3) вказує на те, що молекулярна система знаходиться у зв'язаному стабільному стані, коли сили притягання перевищують сили відштовхування.

Для оцінки величини ефективного напруження під час руйнування матеріалу можна скористуватися співвідношенням в наближенні пружного стану вигляду

$$\Delta E_p = \frac{\sigma^2}{2E} V, \quad (1)$$

де ΔE_p – зміна потенційної енергії, що відповідає лінійній ділянці потенційної ями (рис. 3), Дж;
 σ – напруження, Па; E – модуль пружності, Па; V – об'єм, м³.

З використанням формули (1), механічних властивостей та геометричних параметрів зразків матеріалів (табл. 1) виконано оцінки ефективного напруження матеріалів за даними МД моделювання при різній початковій швидкості фулерену C₆₀, результати яких наведено в табл. 2.

Таблиця 1 – Механічні властивості та геометричні параметри зразків матеріалів

Матеріал	Модуль пружності, ГПа	Границя міцності, ГПа	Розміри зразка, Å	Діаметр молекули, Å
Графен [6]	1000	130	58.2×55.8×3.35	–
ПЕТ [7]	2–2.7	0.13–0.17	158×158×38	–
Фулерен C ₆₀ [8]	12–14	–	–	7.2

Таблиця 2 – Залежність напруження в матеріалах від початкової швидкості фулерену C₆₀

Початкова швидкість C ₆₀ , $\frac{\text{Å}}{\text{фс}}$	Напруження в ПЕТ, ГПа	Напруження в листі графену, ГПа
0.15	3.16	215
0.1	1.76	–
0.05	–	82 < 130
0.005	0.117 < 0.130	–

Отже, представлений підхід (табл. 2) можна використовувати для оцінки границі міцності кристалічних і аморфних матеріалів без створення дороговартісних експериментальних зразків.

Висновки. Одержані дані МД моделювання підтверджують можливість дослідження механізмів руйнування матеріалів на атомістичному рівні. Подальші дослідження планується продовжити в напрямку МД моделювання процесів руйнування полімерно-керамічних композитних матеріалів, оцінки їхньої границі міцності та умов тріщиностійкості.

Перелік посилань

1. Atomistic Modeling of Materials Failure. Editors M. J. Buehler. New York: Springer. 2008. ISBN978-0-387-76425-2. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-76426-9>
2. Molecular Dynamics Simulation of Uniaxial Tensile Mechanical Properties and Failure Mechanisms of MgAl₂O₄ Spinel / A. Pan, W. Wang, H. Zhang, S. Hao, J. Xie, A. Wang // Advanced Engineering Materials. 2024. Vol.26, Issue15. art. ID 2400476. <https://doi.org/10.1002/adem.202400476>
3. Li E. J., Semnani S. J. Molecular dynamics enabled data-driven modeling of constitutive behavior and failure in composite materials // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 2025. Vol. 446, Part A, art. ID 118230. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004578252500502X>
4. Amsterdam Modeling Suite : ReaxFF. URL: <https://www.scm.com/amsterdam-modeling-suite/reaxff/> (дата звернення: 11.09.25)
5. The ReaxFF reactive force-field: development, applications and future directions / T. P. Senftle, S. Hong, M. M. Islam, S. B. Kylasa, Y. Zheng, Y. K. Shin, C. Junkermeier, R. Engel-Herbert, M. J. Janik, H. M. Aktulga, T. Verstraelen, A. Grama, A. C. T. van Duin // Computational Materials. 2016. Vol. 2, Issue 1. Article ID: 15011. doi: <https://doi.org/10.1038/npjcompumats.2015.11>
6. Liu L., Li Y., Jiang X. Engineering the flexibility and elastic modulus of graphene by heterojunctions // Physica Scripta. 2024. Vol. 99, No 5. art. ID 055954. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/ad3b52>
7. Ji Li-na. Study on Preparation Process and Properties of Polyethylene Terephthalate (PET) // Applied Mechanics and Materials. 2013. Vol. 312. P. 406–410. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.312.406>
8. Measurement of the elastic properties of evaporated C₆₀ films by surface acoustic waves / H. Coufal, K. Meyer, R. K. Grygier, M. de Vries, D. Jenrich & P. Hess // Applied Physics A. 1994. Vol. 59. P. 83–86.

Наномодифікація гідротехнічних бетонів як спосіб покращення їх водостійкості та довговічності

Пушкарьова К.К.¹, д.т.н., проф., Глумаков І.О.¹, асп., Снігур О.В.², наук. спів.

¹«Київський національний університет будівництва і архітектури», м. Київ

²«Інститут Газу Національної Академії Наук України», м. Київ

У роботі представлено результати дослідження водопоглинання важкого бетону з додаванням добавки «Penetron Admix», модифікованої неочищеними вуглецевими нанотрубками (НВНТ). Виявлено, що введення НВНТ до складу гідрофобної добавки зменшує водопоглинання важких бетонів до 43%.

Ключові слова: вуглецеві нанотрубки, наноматеріали, нанотехнології, гідроізоляція, гідротехнічні бетони.

Вступ. Довговічність, стійкість та енергоекономічна ефективність будівельних конструкцій значною мірою залежать від забезпечення їхньої стабільної водонепроникності та мінімального вологопоглинання. Бетон, як капілярно-пориста система, здатний до інтенсивного водопоглинання, що сприяє виникненню вторинних шкідливих явищ: утворенню тріщин, корозії арматури, зниженню терміну служби конструкції. Тому ефективні шляхи зниження водопоглинання бетонів мають важливе значення для гідротехнічних, підземних та інших подібних споруд, які піддаються тривалому впливу вологи, що відповідає концепції ресурсо- та енергоефективності, оскільки сприяє підвищенню довговічності конструкцій без значних додаткових енергетичних та технологічних витрат.

У цих умовах особливого значення набуває модифікація гідрофобних добавок з використанням наноматеріалів, що вже довели свою ефективність у підвищенні міцності, тріщиностійкості та певною мірою водонепроникності цементних композитів.

Серед комерційних рішень для гідрофобізації бетонних конструкцій особливої уваги заслуговує добавка «Penetron Admix», яка базується на капілярно-кристалічному механізмі дії: після додавання матеріалу до бетону запускається перманентний процес кристалоутворення в мікротріщинах, порах та капілярах бетону, що ущільнює його, зменшуючи проникність для води та водорозчинних хімікатів навіть в умовах високого гідростатичного тиску, а отже впевнено збільшує його довговічність [1]. Однак для подальшого підвищення ефективності таких систем доцільним є використання модифікаторів, в тому числі неочищених вуглецевих нанотрубок (НВНТ).

НВНТ є протяжними циліндричними структурами з діаметром від одного до декількох десятків нанометрів і завдовжки від одного мікрона до десятків мікронів. Вони складаються з однієї або декількох згорнутих у трубку гексагональних графітових площин (графенів).

Для даного дослідження використовувалися нанотрубки, синтезовані Інститутом Газу Національної Академії Наук України.

Мета. Метою даної роботи є дослідження впливу неочищених вуглецевих нанотрубок на водопоглинання бетонних композицій, що містять гідрофобну добавку «Penetron Admix», з метою розробки ресурсо- та енергоефективних гідротехнічних бетонів. Очікується, що результати роботи стануть основою для створення нових типів наномодифікованих гідроізоляційних бетонів, придатних для довготривалої експлуатації в умовах підвищеної вологості, гідростатичного тиску та агресивного клімату.

Вплив НВНТ на водопоглинання бетонів. Вимірювання впливу НВНТ на водопоглинання проводили на зразках важкого бетону.

Виготовлення дисперсії нанотрубок. Спираючись на раніше проведені дослідження [2], для даної роботи була приготована дисперсія НВНТ у суперпластифікаторі полікарбоксилатного типу Sikaplast-520 з концентрацією НВНТ 1% від маси суперпластифікатора. Диспергування НВНТ проводили за допомогою ультразвукового диспергатора (УЗДН А 1200) протягом 10 хв до утворення однорідної суспензії.

Виготовлення зразків бетону. Були заформовані зразки важкого бетону наступного контрольного складу: П/Ц - 14%, пісок кварцовий - 29%, щебінь гранітний - 57%, гідрофобна добавка «Penetron Admix», що додавалася згідно рекомендацій виробника у кількості 1% від маси в'язучої речовини, В/Ц - 0,4.

Зразки модифікованого важкого бетону готували наступним чином: до зразків контрольного складу важкого бетону додавали дисперію полікарбоксилатного суперпластифікатора Sikaplast-520 з неочищеними вуглецевими нанотрубками у кількості 1% від маси в'язучої речовини.

Твердіння зразків бетону і набуття міцності відбувалося в нормальних умовах (температура $20 \pm 2^\circ\text{C}$, відносна вологість $95 \pm 5\%$) протягом 28 діб.

Вимірювання водопоглинання. Оскільки не існує єдиної методики вимірювання водопоглинання [3], в даному дослідженні були використані дві методики – стандартна методика за ДСТУ EN 772-11:2021 (методика 1), а також методика, рекомендована виробником гідрофобної добавки «Penetron Admix» (методика 2). За методикою 1 зразки бетону занурили повністю у воду на 3 доби. Потім зразки витягнули з води і дали висохнути ще 3 доби. За методикою 2 зразки бетону занурили у воду на дві третини зразка і тримали у воді протягом 2 тижнів. Після цього зразки витягнули з води і дали висохнути 1 тиждень. На рис. 1 наведені основні етапи підготовки зразків бетону для вимірювання водопоглинання за двома методиками.

Після висихання зразків за обома методиками водопоглинання вимірювали за допомогою трубок Карстена протягом 24 годин. Трубку Карстена встановлювали на зразок бетону, герметично закріпивши її за допомогою парафіну. Після цього в трубку заливали воду і вимірювали кількість води, яка була поглинута зразками бетону протягом заданого часу. На рис. 2 показано вимірювання водопоглинання за допомогою трубок Карстена.

Розрахунок коефіцієнта водопоглинання виконували за формулою (1).

$$R = (m_2 - m_1) / F \cdot \sqrt{t}, \quad (1)$$

де m_2 – маса водонасиченого зразка, кг; m_1 – маса сухого зразка, кг; F – площа зразка, м^2 ; t – час занурення, год.



Рисунок 1 – Підготовка зразків для вимірювання водопоглинання:
а – за методикою 1; б – за методикою 2

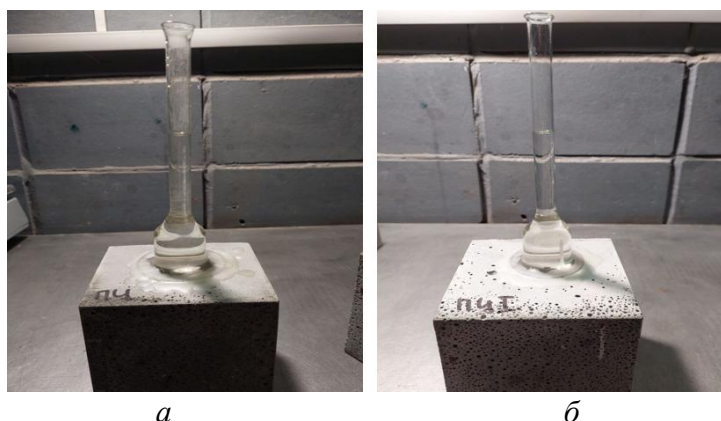


Рисунок 2 – Вимірювання водопоглинання за допомогою трубок Карстена:
а – контрольний склад бетону; б – модифікований склад бетону

Результати та обговорення. В ході проведеного дослідження отримано наступні результати: методика вимірювання водопоглинання є надзвичайно важливою, оскільки за стандартною методикою 1 водопоглинання контрольного складу важкого бетону з гідрофобною добавкою «Penetron Admix» та без НВНТ становить 14 мл, за методикою 2 – 4,5 мл (зменшення коефіцієнта водопоглинання у 3,2 раза); при додаванні НВНТ у важкий бетон контрольного складу, що містить гідрофобну добавку «Penetron Admix», водопоглинання зменшилося на 33% при вимірюванні за методикою 1, і на 43% при вимірюванні за методикою 2 порівняно зі зразками важкого бетону контрольного складу, при цьому коефіцієнт водопоглинання знизився в 1,47 та 1,75 раза відповідно.

Результати дослідження наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати вимірювання водопоглинання важкого бетону, що містить гідрофобну добавку «Penetron Admix»

Вид бетону	Концентрація НВНТ, %	Гідрофобна добавка	Методика вимірювання	*Водопоглинання, мл	Коеф. водопоглинання
Важкий	0.0%	Penetron Admix	1	14.0	0.07
Важкий	1.0%	Penetron Admix	1	8.0	0.04
Різн., %				-43%	
Важкий	0.0%	Penetron Admix	2	4.5	0.022
Важкий	1.0%	Penetron Admix	2	3.0	0.015
Різн., %				-33%	

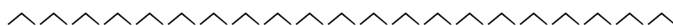
*Вимірювання водопоглинання проводилося протягом 24 годин.

Висновки. Отже, проаналізувавши отримані дані, можна зробити наступні висновки: дотримання рекомендованих виробниками методик вимірювання водопоглинання є обов'язковим для отримання достовірних даних; введення НВНТ знижує водопоглинання бетону з гідрофобною добавкою «Penetron Admix» на 33% ... 43%, оскільки НВНТ стимулюють пошарове нарощування пластинчастих гідросилікатів кальцію гексагональної форми, що блокує шляхи для проникнення води [2]. Дані результати свідчать про необхідність проведення подальших досліджень, спрямованих на використання нанотрубок у різних типах пластифікаторів, а також дослідження впливу концентрації нанотрубок (від маси пластифікатора) на експлуатаційні та фізико-механічні властивості гідротехнічних бетонів.

Перелік посилань

1. Кристалічна гідроізоляція Penetron Admix. URL: <https://www.penetron.ua/material/penetron-admix> (дата звернення: 17.05.2026)
2. Пушкарьова К. К., Марціх А. С. Вплив наномодифікуючих добавок на процеси структуроутворення цементних гідроізоляційних розчинів // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – №59. – 2018. - С. 37.
3. Glumakov I., Pushkarova K. Nanomodification of cement systems as an effective way to improve the quality of special-purpose mortars. Conference proceedings of international scientific and practical conference «Build Master Class 2025». Chief editor: V.I. Skochko, K.: KNUCA, 2026. 649 p. URL: <https://bmc.knuba.edu.ua/archive/> (дата звернення: 17.05.2026)

СЕКЦІЯ МАШИНИ І ТЕХНОЛОГІЇ ПАКУВАННЯ



Модернізація багатоспіральної екструзійної головки для переробки полімерів з високою температурою плавлення

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

Розглянуто проблему недостатнього прогрівання дорна в багатоспіральних екструзійних головках. Запропоновано удосконалення конструкції головки шляхом впровадження системи внутрішнього нагрівання дорна, що дозволяє покращити температурний режим екструзії, забезпечити стабільну текучість полімерів з високою температурою перероблення та високу однорідність плівкової продукції.

Ключові слова: екструзійна головка, рукавна плівка, полімери, внутрішній нагрівач, тепловий аналіз, дорн.

Вступ. У виробництві високоякісних пакувальних плівок із полімерів з високою температурою плавлення (HDPE, LLDPE, LDPE, EVA) критичною проблемою є швидке зниження температури та втрата текучості матеріалу всередині формуючого інструменту. У традиційних конструкціях екструзійних головок нагрівання здійснюється переважно за рахунок зовнішніх нагрівальних елементів [1].

Під час роботи з тугоплавкою сировиною така схема виявляється неефективною: базова модель без модифікації характеризується недостатнім нагріванням центральної частини. Оскільки в середині дорна немає нагрівача, розплав при проходженні через спіральні канали швидко охолоджується від контакту з масивним металевим осердям. В'язкість полімеру стрімко зростає, що призводить до нерівномірного розподілу потоків, погіршення гомогенізації та утворення дефектів (ліній злиття) на готовій плівці.

Мета удосконалення конструкції головки екструдера – покращити температурний режим проточної частини екструзійної головки та забезпечити стабільну текучість розплаву шляхом оптимізації системи нагрівання.

Для вирішення проблеми "холодного ядра" виконано модернізацію базової моделі. Конструктивну схему модернізованої головки в розрізі наведено на рис. 1, а її технічною основою послужив патент CN106738827A [2].

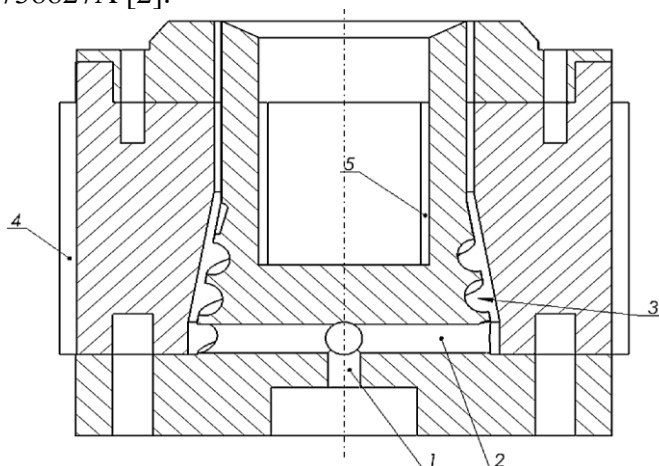


Рисунок 1 – Модернізована модель головки: 1 – канал подачі розплаву; 2 – радіальні отвори; 3 – спіральні канали; 4 – зовнішній нагрівач; 5 – внутрішній нагрівач

Згідно з матеріалами патенту для адаптації головки до полімерів з високою температурою перероблення необхідно застосувати систему двостороннього обігріву шляхом виконання спеціальної порожнини у середній частині (на осі) дорна та встановленні в неї додаткового внутрішнього нагрівального кільця. Відповідно до розглянутої конструкції, розплав від екструдера надходить у канал основи, розподіляється по радіальних отворах і заходить у спіральні канали [2].

Для підтвердження ефективності такого рішення проведено тепловий аналіз (Steady State Thermal) у середовищі ANSYS. На рис. 2 представлено отриманий розподіл температурного поля для базової моделі (без внутрішнього нагрівача). Як показують результати моделювання, температура дорна в центральній зоні є надто низькою для полімерів з високою температурою перероблення (близько 186 °C), що створює високий гідродинамічний опір.

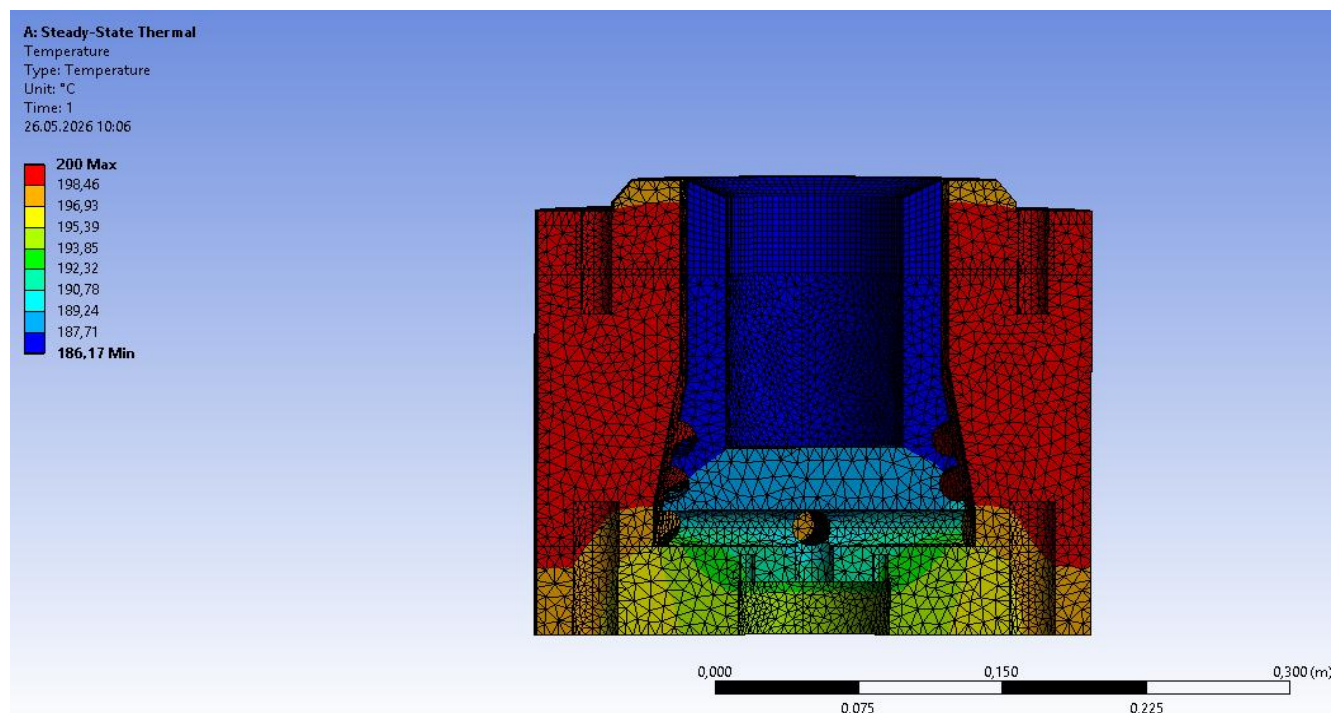


Рисунок 2 – Температурне поле базової моделі

Після впровадження внутрішнього нагрівача температурне поле змінилося. Тепер дорн нагрівається значно краще та рівномірніше. Тепловий аналіз модернізованої головки підтверджує, що температура в зоні спіральних каналів досягає стабільних оптимальних значень (близько 195–200 °C). Полімерний розплав піддається інтенсивному двосторонньому тепловому впливу (від зовнішніх хомутових та внутрішнього кільцевого нагрівачів). Завдяки цьому матеріал не переохолоджується, зберігає необхідну в'язкість та тече набагато краще, рівномірно заповнюючи формувальну щілину матриці. Отриманий розподіл температур для модернізованої моделі з внутрішнім нагрівачем відповідно до патенту CN106738827A зображено на рис. 3.

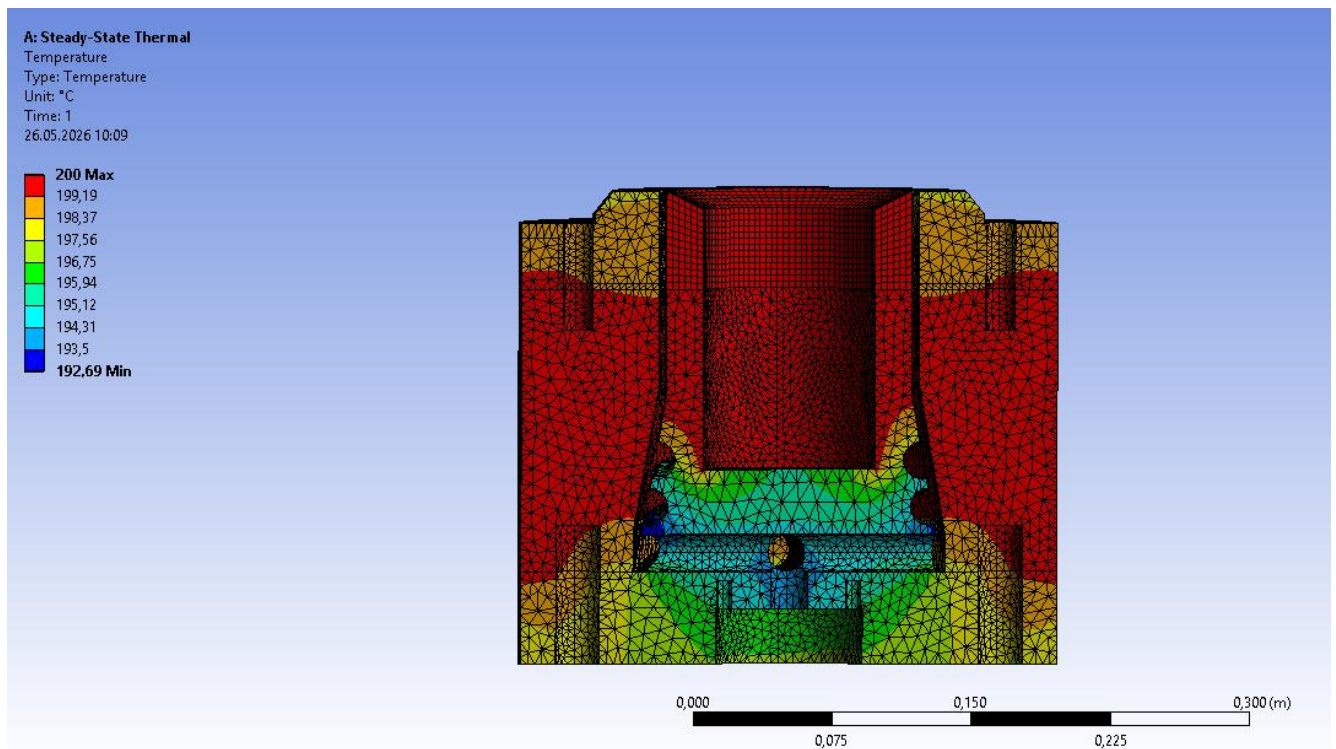


Рисунок 3 – Температурне поле модернізованої моделі з внутрішнім нагрівачем відповідно до патенту CN106738827A

Висновки. Конструктивна модернізація екструзійної головки на базі рішень патенту CN106738827A [2] повністю вирішує температурні проблеми переробки в'язких полімерів. Додавання внутрішнього нагрівача в порожнину дорна дозволило усунути температурний градієнт, характерний для базової моделі. Завдяки кращому нагріванню дорна розплав тече з меншим гідравлічним опором, його термічна однорідність підвищується, що в результаті гарантує високу стабільність процесу екструзії та якість готової плівки.

Перелік посилань

1. Витвицький В. М., Мікульонюк І. О. Моделювання процесу живлення черв'ячного екструдера полімерною сировиною. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 136 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41177>
2. Патент CN 106738827 A, Int. Cl. B29C 47/20. 适应高熔点树脂的多螺旋吹膜机头 (Багатоспіральна екструзійна головка для смол з високою температурою плавлення) / Винахідник: Chen Gongzhen; Заявник: Fuzhou University. – Опубл. 31.05.2017.

Модернізація екструзійної головки екструдера для виготовлення полімерної рукавної плівки з метою підвищення якості

Гафинець Т.М. студ., Козловець А.О., студ., Казак І.О., к.п.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано модернізацію екструзійної головки екструдера для виготовлення полімерної рукавної плівки з формувальним каналом зі змінним поперечним перерізом. Модернізація спрямована на покращення розподілу полімерного розплаву в проточній частині головки екструдера для виготовлення полімерної плівки, підвищення стабільності технологічного процесу та забезпечення рівномірної товщини готової плівки.

Ключові слова екструдер, екструзійна головка, полімерна рукавна плівка, покращення розподілу розплаву, формувальний канал, змінний поперечний переріз, підвищення якості.

Вступ. Екструзія є одним із найпоширеніших способів переробки полімерних матеріалів для виготовлення плівок, труб та профільних виробів [1]. У процесі виробництва полімерної рукавної плівки важливе значення має рівномірність розподілу полімерного розплаву в екструзійній головці. Нерівномірний потік матеріалу призводить до коливань товщини плівки, погіршення механічних характеристик та збільшення кількості браку.

Для підвищення якості готової продукції було проведено аналіз літературно-патентних рішень щодо існуючих варіантів модернізації екструзійних головок для виготовлення рукавної полімерної плівки. За результатами аналізу було обрано прототип [2] з формувальним каналом зі змінним поперечним перерізом, який передбачає вдосконалення конструкції проточної частини головки за рахунок оптимізації каналів подачі полімерного розплаву (Рис. 1).

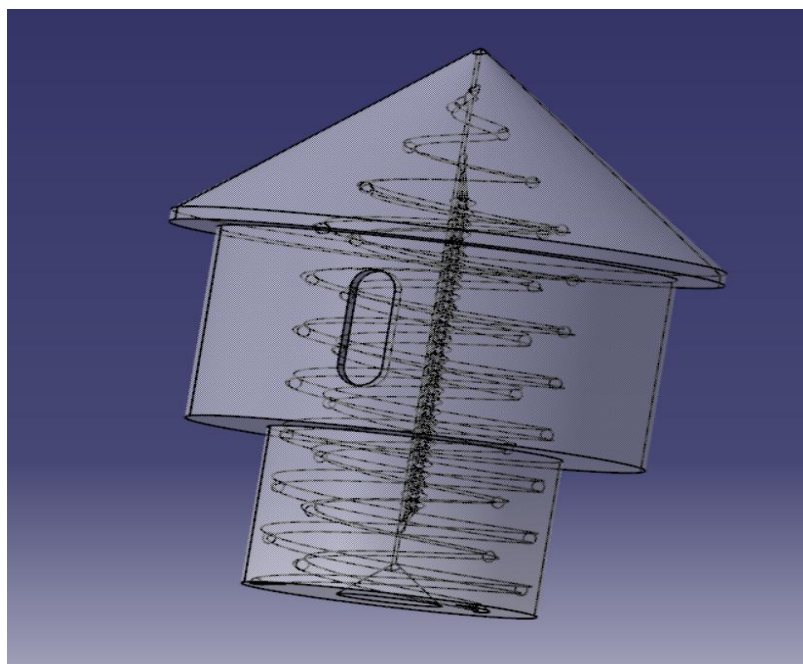


Рисунок 1 – Модель модернізованої конструкції головки екструдера з геометрією всередині формувального каналу зі змінним поперечним перерізом

У стандартних екструзійних головках розподіл полімеру відбувається через центральний канал із подальшим надходженням до кільцевого зазору. Така конструкція може спричиняти виникнення зон застою матеріалу, нерівномірний тиск по периметру головки та локальні

температурні перепади. У результаті погіршується однорідність плівки та знижується стабільність технологічного процесу.

Запропонована модернізація передбачає зміну геометрії розподільної частини головки, що забезпечує більш рівномірний розподіл розплаву по колу. Завдяки цьому вирівнюється швидкість потоку матеріалу, зменшуються втрати тиску та покращуються умови формування рукавної плівки (Рис. 2).

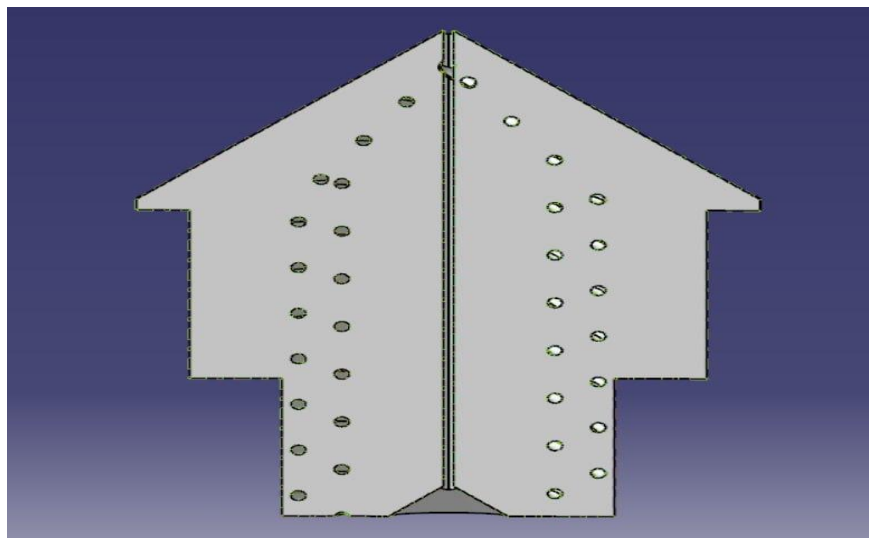


Рисунок 2 – Модель модернізованої конструкції головки екструдера з системою розподільних каналів зі змінним поперечним перерізом у розрізі

Під час роботи модернізованої головки полімерний розплав надходить у систему розподільних каналів, де рівномірно розподіляється по всьому периметру формувального зазору. Це дозволяє забезпечити стабільні умови екструзії, зменшити відхилення товщини плівки та підвищити якість готової продукції.

Використання формувального каналу зі змінним поперечним перерізом у голоці екструдера дозволить забезпечити більш плавний рух полімерного розплаву та зменшити турбулентність потоку. У результаті модернізації головки для рукавної плівки: вирівнюється тиск у каналі; стабілізується швидкість руху розплаву; покращується рівномірність товщини плівки; зменшується ризик утворення дефектів поверхні. Для процесу екструзії це має велике значення, оскільки навіть незначні коливання потоку можуть викликати порушення структури плівки та появу браку. Таким чином забезпечується комплексне покращення процесу екструзії, що дозволить підвищити якість готової продукції, зменшити кількість дефектів та реалізувати модернізацію з мінімальними конструктивними змінами обладнання [2].

Висновки. Проведений аналіз показав, що конструкція екструзійної головки має вирішальний вплив на якість полімерної рукавної плівки та стабільність процесу екструзії. Представлена конструкція модернізованої головки екструдера з системою розподільних каналів зі змінним поперечним перерізом, дозволяє покращити умови розподілу полімерного розплаву в проточній частині головки, знизити нерівномірність потоку та мінімізувати коливання товщини плівки. Запропонована модернізація головки екструдера сприяє підвищенню ефективності роботи екструзійного обладнання, покращенню якості готової продукції та зменшенню кількості технологічного браку.

Перелік посилань

1. 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>
2. Die head and process to manufacture multilayer tubular film : pat. CA 3058334 A1 Canada / Perry Allen, Christopher Allen; Applicat. 10.10.2019 ; Publ. 13.04.2020, 22 p.

Модифікація екструзійної головки екструдера для виготовлення полімерної рукавної плівки

Ковтанюк Р.О., студ., Партоленко О.К. студ., Олексишен В.О., PhD, ас.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Перевірено ефективність запропонованого в патенті рішення підвищення рівномірності розподілу полімерного розплаву в екструзійній голівці, зменшення коливань товщини плівки та покращення якості готового виробу за рахунок оптимізації конструкції проточної частини.

Ключові слова: черв'ячний екструдер, екструзійна головка, полімерна плівка, дорнотримач, проточна частина, модернізація, стабільність потоку.

Вступ. Процес екструзії починається з подачі сировини до приймального бункера. Далі матеріал надходить до робочої зони шнека, де під впливом тиску, тертя та високої температури він плавиться. У процесі плавлення матеріал ретельно перемішується до однорідного стану. Перед формуванням матеріал проходить через сітчастий фільтр, який видаляє сторонні домішки. Потім розплавлений полімер видавлюється з кільцевого зазору екструзійної голівки, утворюючи рукавну заготовку, що далі обробляється. Температура в екструдері регулюється залежно від властивостей полімеру та поступово підвищується від завантажувальної зони до екструзійної голівки, що забезпечує оптимальні умови пластифікації [1].

Було розглянуто патент WO2018024267A1 [2] в якому зазначена геометрична модифікація основної розподільчої частини.

Мета модифікації – підвищення стабільності потоку полімерної маси до основного кільцевого отвору. Це допомагає стабільності процесу розподілу, що впливає на однорідну товщину плівки. Також метою модифікації є зниження втрат тиску на етапах проходження полімеру, покращення термічної однорідності і стабільності екструзійного процесу. На рис. 1 показана схематична модифікація [2].

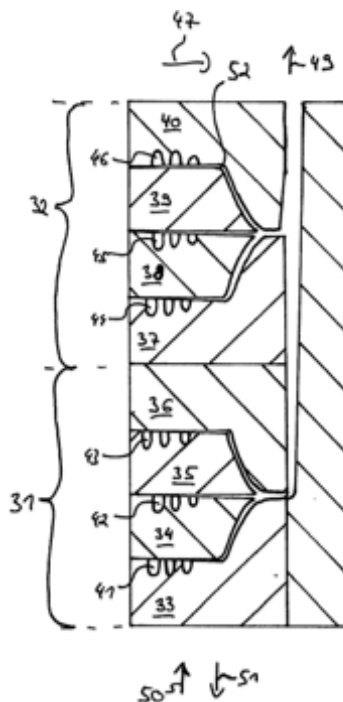


Рисунок 1 – Схематична модифікація

У стандартних екструзійних розподільниках розплав подається через центральний канал який розподіляється через кільцевий зазор, або розподільчі канали. Недоліки такої конструкції

полягають в тому, що існує нестабільність швидкості потоку по колу, зони застою матеріалу та локальні перегріви, а також різний нерівномірний тиск. Це приводить до нерівномірної товщини плівки.

Винахід пропонує багатоканальний спосіб розподілення матеріалу, контрольований переріз каналів, вирівнювання гідродинамічного опору та рівномірне підведення розплаву до щілини. Результатом цього є кероване розподілення і рівномірність товщини по колу.

Конструкція дорна складається з серцевини та декількох різних деталей які створюють три кільцеві отвори зі спіральними розподільчими каналами. У серцевині є центральний отвір в якому є отвори на кожному рівні. Відповідно до розташування отворів, їх продовження також є і у сегментних частинах (Рис. 3). Отвори співставляються один з одним за допомогою шпонкових з'єднань. На рис. 2-3 зображено схематичну конструкцію.

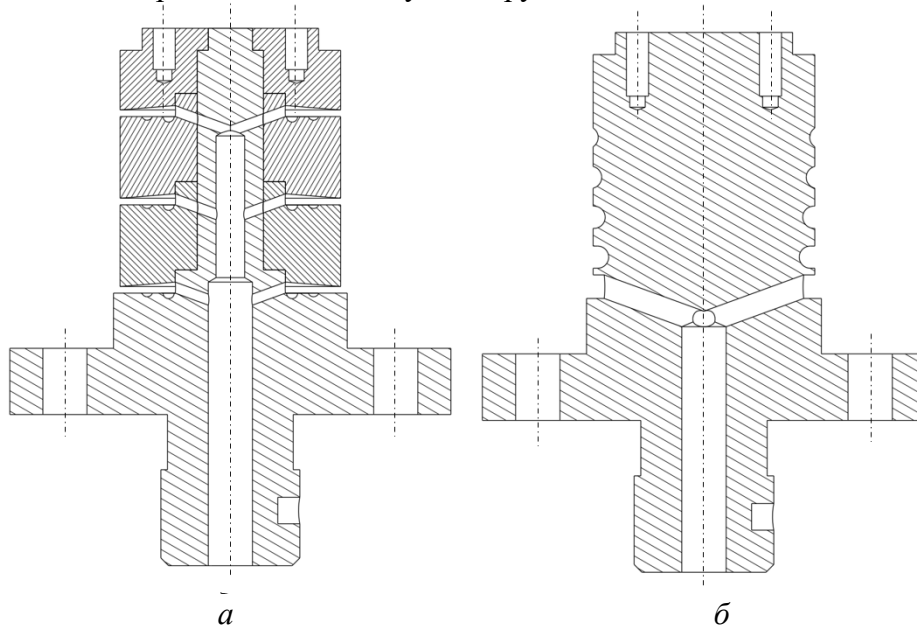


Рисунок 2 – Схема конструкційної подифікації дорнотримача: *а* – стандартний дорнотримач; *б* – модифікований дорнотримач з оптимізованими каналами

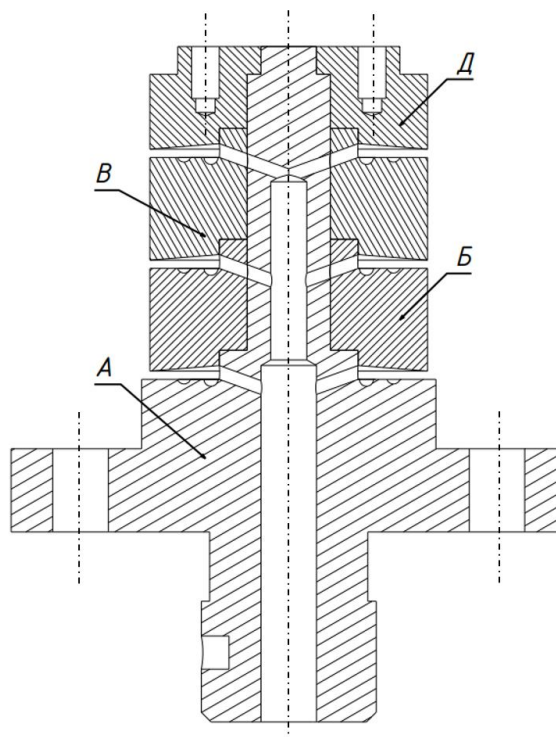


Рисунок 3 – Конструкція дорнотримача: А – серцевина; Б – сегмент 1; В – сегмент 2; Д – кришка

У стандартній головці процес екструзії відбувається методом пошуку найкоротшого шляху, що якраз і приводить до нестабільності товщини. Навідміну від попередньо згаданого методу, модифікована версія дорнотримача пропонує примусове вирівнювання потоку через розподілення місць виходу полімеру, кільцеве розподілення по колу за допомогою спіральних проточок (Рис. 4).

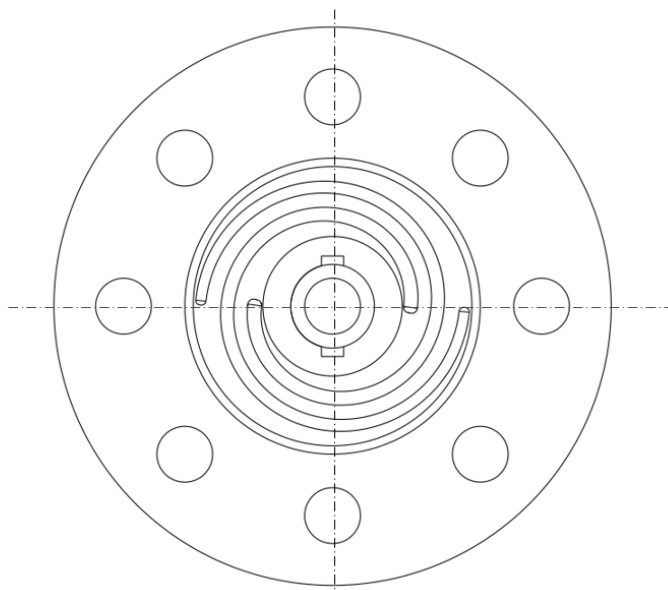


Рисунок 4 – Внутрішня частина розподільних сегментів зі спіральними проточками

В таблиці 1 показані переваги модифікованої версії дорнотримача.

Таблиця 1 – Порівняння стандартного розподільника і модифікованого

Розподільник	Розподіл потоку	Канали	Тиск і температура	Якість плівки
Стандартний	Нерівномірний	Прямі	Різний тиск, великі перепади температури	Коливання товщини
Сегментний	Рівномірний	Спіральні	Тиск вирівняний по колу і температура розподілена	Товщина однорідна

Висновки. Патент пропонує геометричну модифікацію, яка передбачає зміну конструкції розподільника екструзійної головки. Головним чином зміни впливають на стабільність потоку полімеру, що забезпечує рівномірне розподілення товщини стінок полімерної плівки. Також це впливає на підвищення стабільності загального процесу екструзії у головці.

Перелік посилань

1. Гончаров Д. В. Лінія виробництва рукавної полімерної плівки з модернізацією головки екструдера. Дипломний проект. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025.
2. WO2018024267A1, Int. Cl. B29C 47/00. Екструзійна головка для виготовлення полімерної плівки / заявник та винахідник: Lettowsky Christoph. – № WO2018024267A1 ; заявл. 01.08.2016 ; опубл. 08.02.2018. – 33 с.

Модернізація штока дозатора розливного автомата карусельного типу

Йовченко М.В., студ., Сокольський О.Л., д.т.н., доц., Партоленко О.К., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Проведено порівняння базової та модернізованої конструкції штока дозатора розливного автомата карусельного типу. Виконано числове моделювання напружено-деформованого стану модернізованої і базової конструкції у середовищі ANSYS v19.2. Визначено переваги модернізованого штока щодо міцності, стабільності роботи та точності дозування.

Ключові слова: дозатор, шток, модернізація, напруження, деформації.

Вступ. Розливні автомати карусельного типу широко застосовуються у харчовій, фармацевтичній та хімічній промисловості для високопродуктивного наповнення тари рідинами. Одним із основних елементів дозатора є шток розливного патрона, який забезпечує роботу клапанного механізму та регулювання подачі рідини [1]. Від конструкції штока залежать точність дозування, стабільність роботи системи та герметичність вузла.

На рис. 1, а показано базову конструкцію штока. Стандартна конструкція характеризується базовою системою подачі рідини, однак під час роботи можливе виникнення локальних концентрацій напружень, підвищеного зносу та нестабільності потоку. Для усунення зазначених недоліків було розглянуто модернізовану конструкцію розливного патрона згідно патенту US7469726B2 [2]. Особливістю модернізації є використання декількох керованих газових каналів та клапанів, що дозволяють реалізувати різні режими наповнення без заміни основних конструктивних елементів. Модернізована система забезпечує швидке та плавне регулювання потоку рідини, а також зменшує піноутворення під час розливу пінистих рідин.

На рис. 1, б показано модернізовану конструкцію патрону з додатковими газовими каналами та системою керування потоком. Для перевірки працездатності модернізованого штока було виконано числове моделювання в програмному середовищі ANSYS v19.2 з використанням модуля Static Structural. Матеріалом штока обрано нержавіючу сталь AISI 316, яка характеризується високою корозійною стійкістю та достатньою міцністю для роботи в умовах хімічного виробництва.

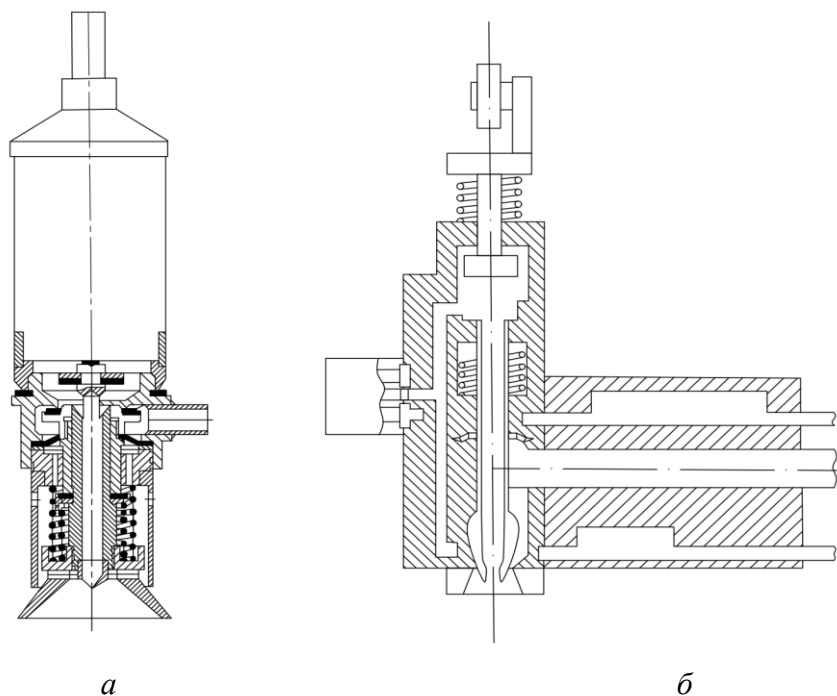


Рисунок 1 – Креслення патрона: а – базовий; б – модернізований

Для моделювання реальних умов роботи один із торців штока було жорстко закріплено за допомогою команди Fixed Support, а на робочі поверхні прикладено тиск 0,4 МПа. У результаті розрахунків отримано поля еквівалентних напружень (Рис. 2).

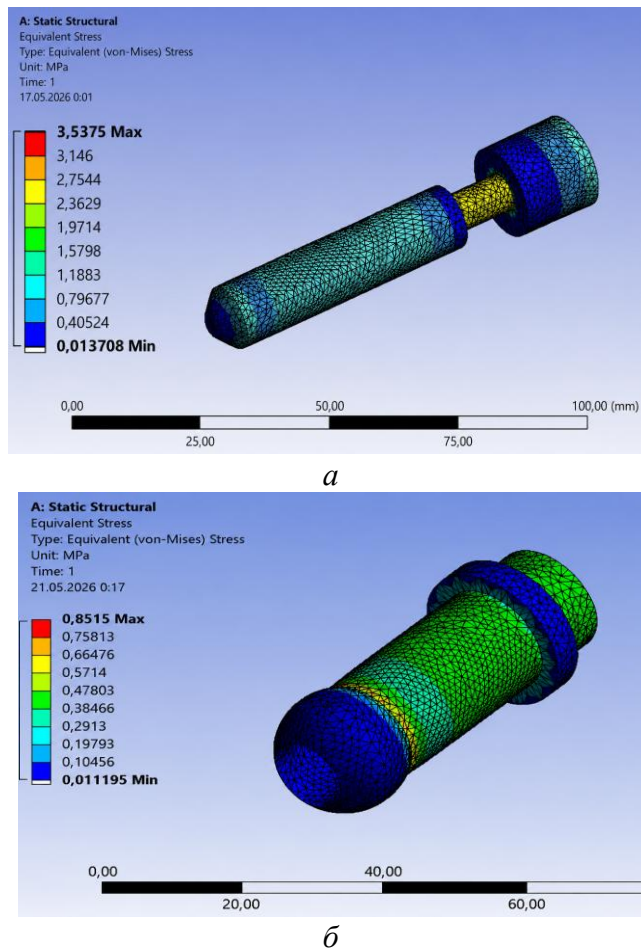


Рисунок 2 – Еквівалентне напруження штоку: *а* – базового, *б* – модернізованого

Таким чином, проаналізувавши, результати числового моделювання, можна сказати що модернізований шток має менші концентрації еквівалентних напружень, що підвищує допустиме робоче навантаження конструкції. Використання керованих газових каналів забезпечує плавне уповільнення потоку наприкінці наповнення, що зменшує втрати продукту та підвищує точність дозування.

Висновки. У результаті проведеного аналізу встановлено, що модернізований шток дозатора має кращі міцнісні характеристики порівняно з базовою конструкцією. Оптимізація геометрії дозволила знизити концентрації напружень та підвищити жорсткість елемента. Проведене числове моделювання підтвердило, що модернізована конструкція штока забезпечує більш рівномірний розподіл напружень, зменшення деформацій та підвищення стабільності процесу розливу.

Перелік посилань

1. Пакувальні технології та обладнання [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальностями 131 Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. Л. Сокольський, Ю. Ю. Герасименко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 123 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/79589>
2. US7469726B2, Int. Cl. B65B 31/00. Beverage bottling plant for filling bottles with a liquid beverage / Ludwig Clisserath, Dieter-Rudolf Krulitsch. – Опубл. 30.12.2008.

Форма для термоформування ємностей з багаторазовим відкриванням

Новохатський Д.О., студ., Сокольський О.Л., д.т.н., доц., Коцюба З.М., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Розглянуто використання термоформувальних машин для автоматичного формування упаковки, дозування та герметичного запаювання, зокрема для пастоподібних продуктів. На основі аналізу патентних рішень розроблено конструкцію модернізованої форми для термоформування ємностей. Головною конструктивною особливістю є застосування каналотворювальної матриці з імпульсним нагрівачем, яка забезпечує приварювання зір-застібки між шарами пакувальної плівки одночасно з процесом герметизації. Впровадження такого рішення дозволяє створювати упаковку з можливістю багаторазового відкривання для зручного користування.

Ключові слова: Термоформувальна машина, форма, зір-застібка, герметизація, пакувальне обладнання.

Вступ. У сучасних умовах розвитку харчової та переробної промисловості особливого значення набуває використання високопродуктивного та енергоефективного обладнання для пакування продукції. Одним із найбільш поширених видів пакувального обладнання є термоформувальні машини, які забезпечують формування упаковки, дозування продукту та герметичне запаювання в автоматичному режимі [1]. Застосування таких машин дозволяє значно підвищити продуктивність виробництва, забезпечити належний рівень герметичності упаковки, подовжити термін зберігання продукції та покращити її товарний вигляд. Особливо актуальним є використання термоформувальних машин для пакування пастоподібних продуктів, таких як соуси, майонези, молочні десерти, плавлені сири, креми та інші харчові продукти. Для даної категорії продукції важливими є стабільність процесу формування упаковки, точність дозування та надійність герметизації, оскільки навіть незначні порушення технологічного процесу можуть призводити до втрати якості продукції та зменшення терміну її зберігання.

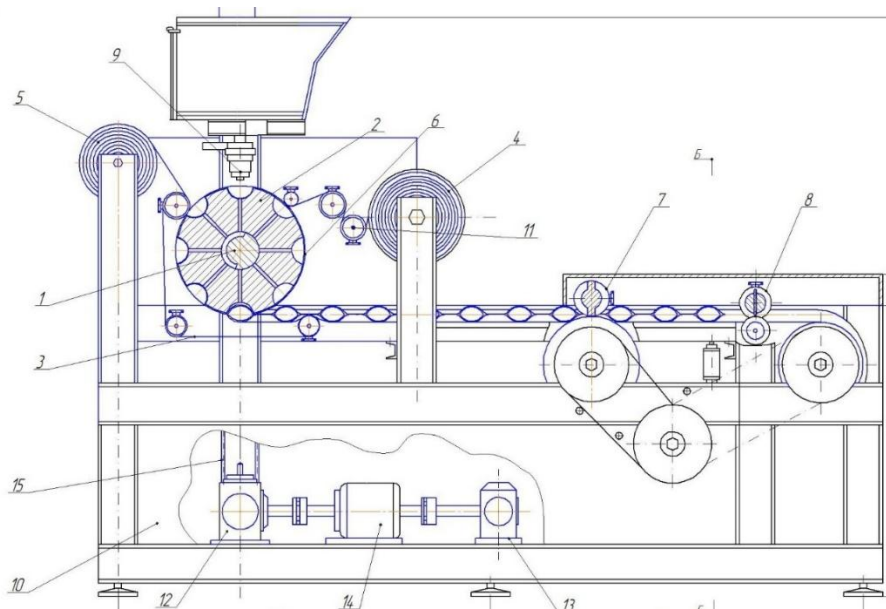


Рисунок 1 – Термоформувальна машина: 1 – бункер; 2 – дозувальний барабан; 3 – транспортер; 4 – механізм розмотування нижнього рулону плівки; 5 – рулонотримач верхньої стрічки; 6 – безкінечна еластична стрічка; 7 – ролики; 8 – ножі; 9 – дозатор; 10 – зварна рама; 11 – форма; 12 – редуктор; 13 – вакуум-насос; 14 – електродвигун; 15 – пасова передача

Одним із основних конструктивних частин подібних машин є вузол формування, який являє собою форму, в якій плоску листову або плівкову полімерну заготовку нагрівають до певної температури, а потім, деформуючи її вакуумуванням або подачею стисненого повітря, надають останньої необхідну форму, фіксація якої здійснюється шляхом охолодження відформованого виробу [2, 3]. Для точнішого формування заготовок і глибшого та рівномірнішого витягування листових заготовок застосовується їх попереднє деформування пуансоном.

Конструкція модернізованої форми

На основі аналізу патентних рішень для модернізації було обрано форму за патентом [4] (рис. 2). За обраним патентним рішенням було розроблено конструкцію модернізованої форми.

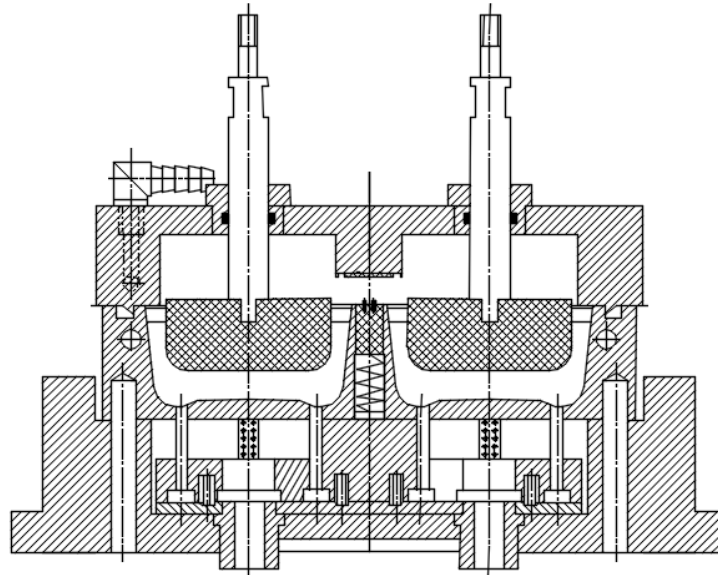


Рисунок 2 – Конструкція модернізованої форми

Особливістю конструкції є використання каналоутворювальної матриці із імпульсним нагрівачем. Дана матриця формує спеціальний канал для проходження зір-застібки між шарами пакувальної плівки. Одночасно з процесом герметизації упаковки імпульсний нагрівач здійснює приварювання зір-застібки до пакувальної плівки. Це дасть змогу споживачу неодноразово використовувати паковану продукцію зі зручним засобом герметизації.

Висновок. Запропонована конструкція модернізованої форми не потребує значного втручання у конструкцію і збільшення її габаритів. Отже, модернізована форма може бути встановлена на діючому обладнанні. Використання даної конструкції дозволить поліпшити зручність користування пакованою продукцією.

Перелік посилань

1. Пакувальні технології та обладнання [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальностями 131 Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. Л. Сокольський, Ю. Ю. Герасименко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 123 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/79589>
2. Мікульонюк І.О. Технологія перероблення полімерів : підруч. 5-те вид., переробл. та доповн. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 314 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74268>
3. Сокольський О. Л., Сівецький В. І., Мікульонюк І. О. Проектування формувальних пристроїв обладнання для перероблення пластмас: навч. посіб. – 2-ге вид., переробл. та доповн. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 160 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/64996>
4. Patent US6701695B1 USA. МПК B65B61/188. Packaging machine for producing reclosable packages. 09.03.2004.

Удосконалення агрегату з виробництва рукавної плівки

Крижановський О.І., студ., Шатківський М.О. студ., Швачко Д.Г., PhD, доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано модернізовану конструкцію шнека одночерв'ячного екструдера, яка відрізняється змінною геометрією гвинтового каналу та оптимізованим профілем гребеня. Це технічне рішення забезпечує покращення транспортування полімеру, більш рівномірний розподіл температури та зниження локальних напружень у матеріалі шнека. Проведено порівняльний аналіз базової та модернізованої моделей із використанням чисельного моделювання.

Ключові слова: екструдер, шнек, ПВХ, модернізація, напружено-деформований стан, ANSYS.

Вступ. Одночерв'ячні екструдери широко застосовуються у виробництві полімерних виробів, зокрема з полівінілхлориду (ПВХ). Основним робочим органом екструдера є шнек, який забезпечує транспортування, плавлення та гомогенізацію полімерного матеріалу.[1,2]

Ефективність роботи екструдера значною мірою залежить від геометричних параметрів шнека: кроку гвинтової лінії, глибини каналу та профілю гребеня. Недосконалість конструкції може призводити до нерівномірного плавлення, підвищених напружень і зниження продуктивності (Рис.1) [3].

Виклад основного матеріалу. В основу запропонованого технічного рішення покладено задачу підвищення ефективності роботи шнека за рахунок зміни його геометричних параметрів.

Модернізація полягає у: змінному кроці гвинтової лінії вздовж довжини шнека; зменшенні глибини каналу в зоні компресії; оптимізації профілю гребеня для зниження концентрацій напружень.

Така конструкція дозволяє: покращити транспортування матеріалу; забезпечити рівномірне плавлення ПВХ; зменшити навантаження на шнек (Рис. 2) [4-6].



Рисунок 1 – Базова модель шнеку

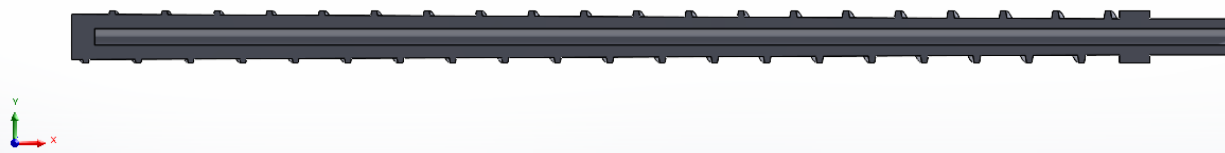


Рисунок 2 – Модернізована модель шнеку

Робота шнека відбувається наступним чином. У зоні завантаження матеріал захоплюється витками шнека та транспортується вперед. У зоні компресії відбувається ущільнення та часткове плавлення полімеру. У дозуючій зоні забезпечується остаточна гомогенізація розплаву.

Модернізований профіль сприяє більш рівномірному розподілу температури та тиску вздовж шнека [7,8].

Результати моделювання. Для оцінювання працездатності модернізації було виконано статичний розрахунок базової та модернізованої моделей шнека екструдера. Порівняння проводили за такими показниками: максимальні загальні деформації, максимальні еквівалентні напруження за Мізесом і мінімальний коефіцієнт запасу міцності (рис.3-8, табл. 1).

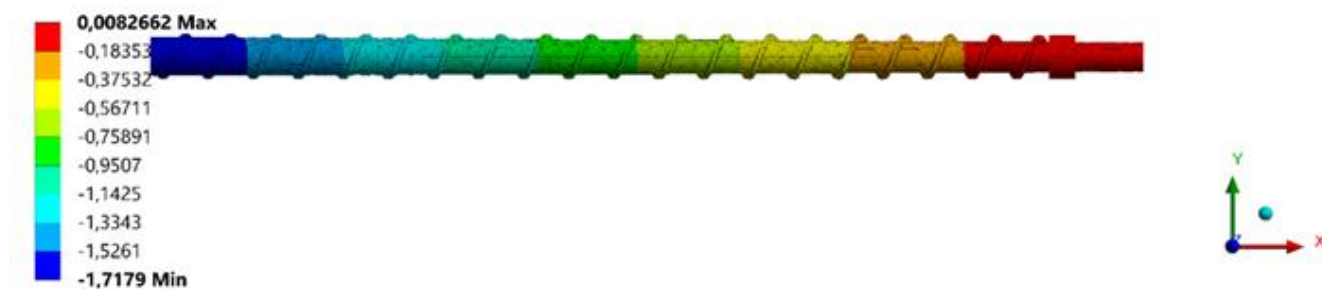


Рис. 3 – Базовий розрахунок черв'яка на деформацію

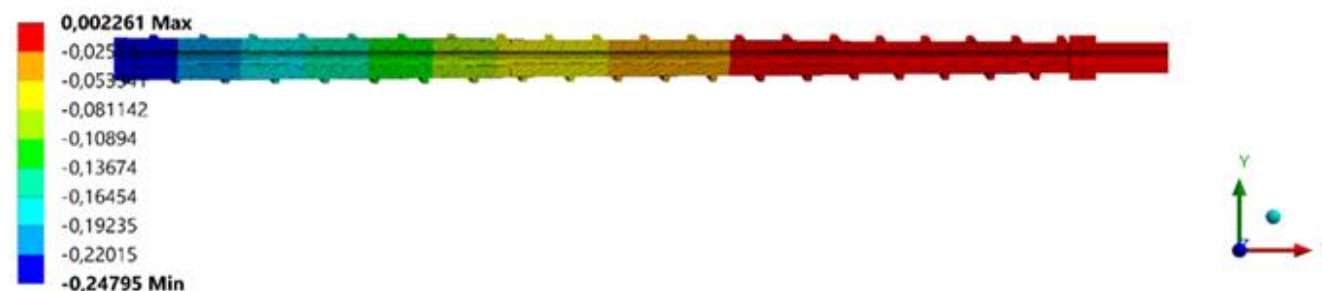


Рис. 4 – Модернізований розрахунок черв'яка на деформацію

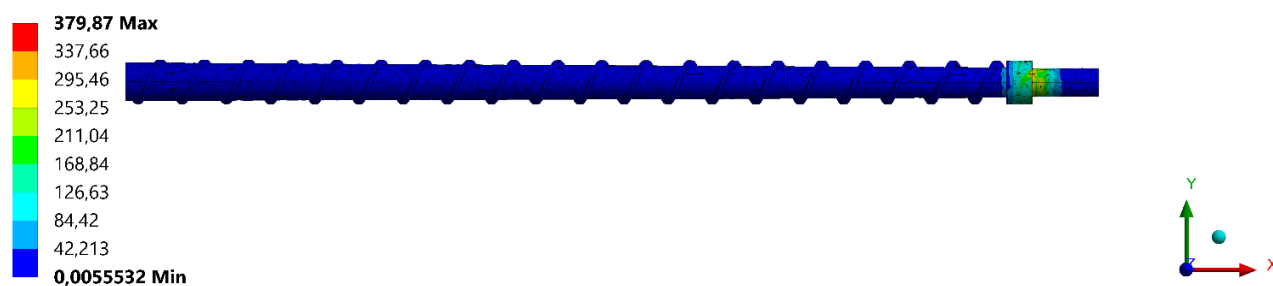


Рис. 5 – Базовий розрахунок черв'яка на максимальні еквівалентні напруження

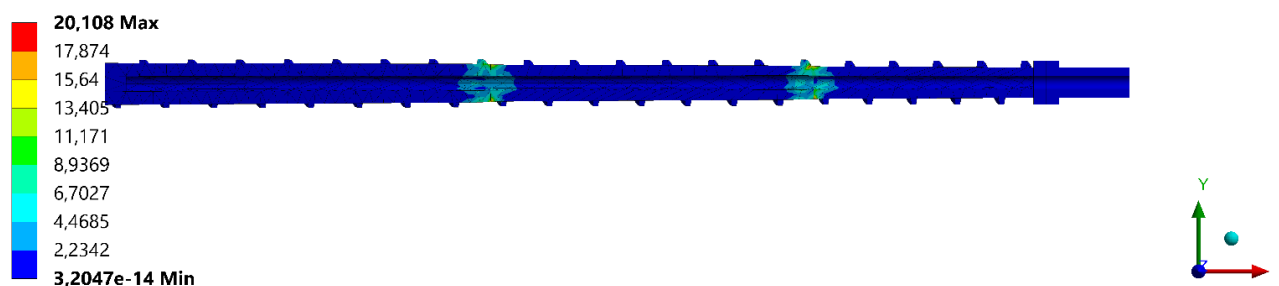


Рис. 6 – Модернізований розрахунок черв'яка на максимальні еквівалентні напруження

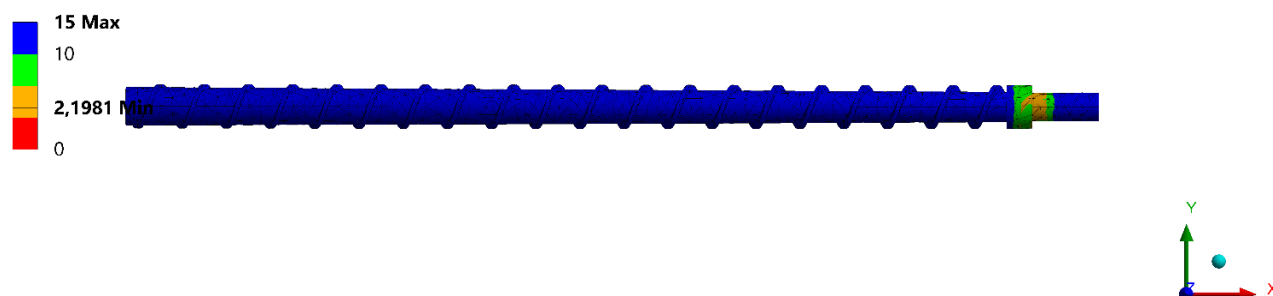


Рис. 7 – Базовий розрахунок черв'яка на мінімальний коефіцієнт запасу міцності

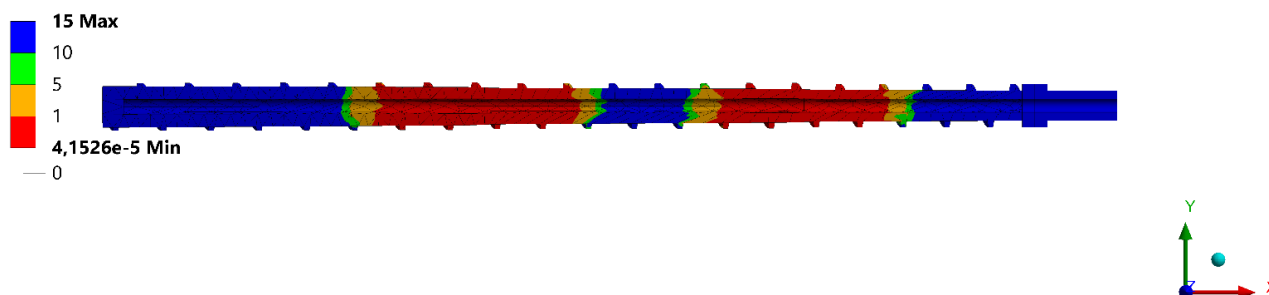


Рис. 8 – Модернізований розрахунок черв'яка на мінімальний коефіцієнт запасу міцності

Таблиця 1 – Порівняння результатів статичного розрахунку базової деталі

Результат розрахунку	Базова модель	Модернізована модель	Зміна, %
Максимальна загальна деформація, мм	0.008	0.002	-75,00%
Максимальні еквівалентні напруження за Мізесом, МПа	379,87	20,108	-94,71%
Мінімальний коефіцієнт запасу міцності	2,198	>1	-31.75%

Отримані результати показали, що модернізована конструкція має: більш рівномірний розподіл напружень; зниження пікових значень напружень; допустимий рівень деформацій.

Коефіцієнт запасу міцності залишається в межах допустимих значень, що підтверджує працездатність конструкції.

Висновок. Запропонована конструкція шнека дозволяє підвищити ефективність процесу екструзії ПВХ за рахунок оптимізації геометрії гвинтового каналу. Модернізація сприяє: підвищенню якості продукції; зниженню навантажень на елементи конструкції; збільшенню ресурсу роботи шнека. Отримані результати підтверджують доцільність використання запропонованого технічного рішення у промислових умовах.

Перелік посилань

1. Сівецький В. І., Сокольський О. Л., Швачко Д. Г. Екструзійне обладнання : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. В. І. Сівецький, О. Л. Сокольський, Д. Г. Швачко. – Електрон. текст. дані (1 файл : 4,66 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 144 с. – URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/73944>.
2. Микульонек І. О. Механічні процеси та обладнання виробництва полімерних і будівельних матеріалів та виробів. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 102 с.
3. Tadmor Z., Gogos C. G. Principles of Polymer Processing. – 2nd ed. – Hoboken : John Wiley & Sons, 2006. – 961 p.
4. Rauwendaal C. Polymer extrusion. 5th ed. Munich : Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2014. 950 p. URL: <https://doi.org/10.3139/9781569905395>
5. Rosato D. V., Rosato D. V. Extruding Plastics : A Practical Processing Handbook. – Boston : Springer, 2004. – 650 p.
6. ANSYS Inc. ANSYS Mechanical APDL Structural Analysis Guide. – Canonsburg : ANSYS Inc., 2024.
7. Osswald T. A., Hernández-Ortiz J. P. Polymer Processing : Modeling and Simulation. – Munich : Hanser Publishers, 2006. – 482 p.
8. CN115256869A. Extruder screw optimization.

Утилізація штучного каучуку як одне з рішень по збереженню навколишнього середовища

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

Розглянуто можливості утилізації, переробки та повторного використання штучного каучуку, зокрема шин, що сприяє зменшенню критичної шкоди навколишньому середовищу.

Ключові слова: каучук, переробка, навколишнє середовище, шини.

Вступ. Загальновідомо, що накопичення полімерних відходів є серйозною екологічною проблемою [1]. Наразі відходи відпрацьованих шин становлять 1,5 млрд. штук на рік, які містять в своєму складі до 90% вулканізованої гуми, яку неможливо легко переробити (повторно обробити) через її складну зшиту структуру. Основним компонентом шинної гуми є каучук, що надає матеріалу гнучкість та стійкість до зносу. Відпрацьовані гумові труби, ремені та взуття – це також різні види гумотехнічних відходів. Однак шинна промисловість, як основний споживач каучуку (65% світового виробництва), генерує найбільшу кількість гумових відходів. Тому переробку гуми зводиться, в основному, до переробки шин.

Традиційним способами поводження з відпрацьованими шинами є захоронення на сміттєзвалищах або спалювання, проте це створює серйозні ризики для навколишнього середовища та здоров'я людини через небіорозкладність гуми та виділення шкідливих хімічних речовин під час горіння [2]. Крім того, гумові відходи на сміттєзвалищах можуть виділяти токсини в ґрунт та водойми, що ще більше посилює забруднення навколишнього середовища. Тож завдання переробки та повторного використання відпрацьованих шин є актуальним і потребує вирішення.

Відновлення шин. Одним зі способів подовження строку служби шин є їх відновлення. Це призводить до зменшення витрат енергії та ресурсів. Для виготовлення нової шини потрібно 23 літри еквівалента сировини нафти для сировини та 9 літрів для технологічної енергії, порівняно з 7 літрами та 2 літрами відповідно для відновлення. Шини легкових автомобілів, як правило, можна відновити лише один раз, тоді як шини вантажівок та автобусів можна відновлювати до шести разів.

Механічна переробка. Вторинне використання цілих шин – це перший крок в ієрархії управління відходами. Шини часто використовуються через їхню форму, вагу, вид або об'єм. Деякі приклади вторинного використання в промислово розвинених країнах включають використання для боротьби з ерозією, як захист для дерев, у штучних рифах (але екологічна обґрунтованість цієї практики ставиться під сумнів разом зі стабільністю матеріалу в морській воді), парканах або перетворення на ігрові майданчики. Різноманітне використання шин для побутових цілей – створення колодязів, амортизаційний шар на причалах або в доках, аварійні бар'єри, тощо. Старі камери також мають багато застосувань, наприклад допоміжні засоби для плавання та контейнери для води.

Використання шинної гуми як сировини для виготовлення побутових товарів. У країнах, що розвиваються, ручна переробка гумових виробів для виробництва споживчих товарів добре налагоджена, асортимент та різноманітність продукції, що виготовляється з перероблених шин та камер, досить велика. Гума, яка використовується в шинах, є відносно легким матеріалом для переробки вручну для виготовлення використовуються нескладні побутові інструменти. Серед виробленої продукції – взуття, сандалі, відра, запчастини для автомобілів, килимки для дверей, контейнери для води, горщики, рослинні горщики, смітєві баки та велосипедні педалі.

Ще один спосіб повторного використання з застосуванням механічної переробки – це подрібнення шини до гранульованої форми з подальшою переробкою. Гранулят зазвичай використовується для побутових виробів, таких як автомобільні килимки, підошви для взуття, гумові колеса для візків та тачок тощо, а також може бути доданий до асфальту для будівництва доріг, де він покращує властивості цього матеріалу.

Хімічне відновлення. Цей тип відновлення не лише займає нижчий рівень в ієрархії управління відходами, але й є вищою технологією, що вимагає складного обладнання. Хімічне відновлення – це процес нагрівання відходів гуми, обробки їх хімікатами та подальшої механічної обробки гуми. Сучасні методи термохімічної девулканізації передбачають обробку гумової крихти у двошнекових екструдерах за температур 80–220 °C [3]. Під час цього процесу використовуються спеціальні хімічні агенти (наприклад, аміни), які під дією механічних зусиль цілеспрямовано руйнують сірчані зв'язки, повертаючи гумі пластичність.

Кислотна регенерація – використання гарячої сірчаної кислоти для руйнування тканини, що входить до складу шини, та термічної обробки, щоб зробити гумові відходи достатньо пластичними, щоб їх можна було використовувати як наповнювач для партій сирової гуми.

Відновлення лугу – регенований каучук, оброблений нагріванням лугом протягом 12–30 годин, може бути використаний як добавка до сирового каучуку для зниження ціни готового виробу. Кількість використаного регенованого каучуку залежить від якості виробу, що виготовляється.

Термічне відновлення. Однією з форм термічного відновлення є піроліз. Це нагрівання відходів шин за відсутності кисню, що призводить до розкладання на газ, рідкі та тверді складові. Процес термічного розкладання відпрацьованих шин зазвичай починається при температурі 290 °C і завершується біля 570 °C [4]. Оптимальний температурний діапазон для максимального виходу корисного піролізного масла становить 250–380 °C. Правильний контроль температури та тиску є найкращою гарантією більшого виходу нафти.

Шини складаються приблизно на 60–70% з вуглеводнів та їх похідних (каучук становить 41–45% маси, а технічний вуглець – близько 25–30%). Це зумовлює їх високу питому теплоту згоряння (близько 30–35 МДж/кг), що дозволяє розглядати відпрацьовані покришки як альтернативне тверде паливо з високим енергетичним потенціалом. Наприклад, в Австралії компанія *Cement Australia* на своєму заводі у місті Рейлтон (штат Тасманія) використовує шини як заміник вугілля. Їх подрібнюють на шматочки розміром близько 50 мм та спалюють в обертових цементних печах при температурі понад 1200 °C, що дозволяє безпечно утилізувати гуму без утворення шкідливого залишку [5].

Висновок. Утилізація відходів пластику та гуми є значною проблемою з екологічної точки зору, оскільки природний розклад цих матеріалів може тривати безліч років. В результаті виконаного аналітичного дослідження, отримано, що найпростішим та водночас екологічно чистим методом утилізації гуми є подрібнення/розмелювання відпрацьованих шин на мелену гуму та використання матеріалу (різних розмірів частинок) як наповнювачів у термореактивних пластмасах, первинних гумах або термопластах для виробництва термопластичних еластомерних сумішей.

Перелік посилань

1. Sihai Energy Technology. Guide to Rubber Recycling. URL: <https://www.sihaienergytech.com/resources/guide-to-rubber-recycling.html>
2. Recycling today. Rubber recycling. URL: <https://www.recyclingtoday.org/pages/rubber-recycling>
3. Diaz, R., et al. "Thermo-mechanical devulcanization and recycling of rubber industry waste". *ResearchGate*, 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/330753316_Thermo-mechanical_devulcanization_and_recycling_of_rubber_industry_waste
4. What is the typical pyrolysis temperature range for tyres? URL: <https://www.doinggroup.com/index.php?u=show-2170.html>
5. "Railton Upgrade: New Alternative Fuels". *Cement Australia*. URL: <https://www.cementaustralia.com.au/news/railton-upgrade-new-alternative-fuels>

СЕКЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ І ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ



Удосконалення конструкції ексцентрикового валу щокрової дробарки для забезпечення самобалансування

Буканов М.Є., студ., Чобіток С.В., студ., Казак І.О., к.п.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано варіант удосконалення ексцентрикового валу щокрової дробарки з функцією самобалансування. Технічним рішенням передбачено зміну геометрії з'єднувальної секції валу шляхом створення зрізаної площини та встановлення регулювальної противаги. Така конструкція дозволяє досягти взаємної компенсації ексцентричних моментів, що забезпечує зниження рівня вібрацій та підвищення експлуатаційної надійності вузла опори рухомої щоки щокрової дробарки.

Ключові слова: щокрова дробарка, ексцентриковий вал, самобалансування, вібрація, противага.

Вступ. Щокрові дробарки є базовим обладнанням у гірничодобувній галузі, що обумовлено їхньою високою надійністю при переробці матеріалів з високою межею міцності.

Щокрова дробарка – це дробарка (машина для дроблення), дроблення в якій здійснюється стисненням матеріалу між щоками [1].

Щокрові дробарки за конструкцією поділяються на дробарки з простим та складним рухом рухомої щоки. Дробарки з простим рухом характеризуються більш простою та надійною конструкцією, тоді як дробарки зі складним рухом забезпечують вищу інтенсивність подрібнення та продуктивність.

Перевагами щокрових дробарок є простота конструкції, висока надійність та довговічність роботи, здатність дробити матеріали з великою міцністю, а також відносна легкість обслуговування та ремонту. Недоліками щокрових дробарок є нерівномірність процесу подрібнення, значні динамічні навантаження і вібрації, що призводять до зносу вузлів, а також підвищені енерговитрати та обмежена продуктивність порівняно з іншими типами дробарок. Найважливішим серед недоліків є значна незбалансованість інерційних мас ексцентрикового валу, що під час роботи на високих швидкостях генерує інтенсивні вібрації. Це призводить до виникнення надлишкових динамічних реакцій у підшипникових вузлах, що спричиняє їх передчасне зношення, руйнування станини щокрової дробарки та суттєві енерговитрати на подолання залишкового дисбалансу.

Традиційні підходи до балансування, які зазвичай передбачають використання масивних зовнішніх маховиків-балансирів, мають суттєві обмеження. Вони не лише значно збільшують загальні габарити та металомісткість установки, а й не дозволяють ефективно локалізувати динамічні зусилля безпосередньо у місці їх виникнення. З огляду на це, розробка та впровадження конструкції ексцентрикового валу з внутрішньою функцією самобалансування є пріоритетним напрямком удосконалення, що дозволить підвищити експлуатаційну надійність та ресурс щокрової дробарки.

Отже, за результатами літературно-патентного огляду на основі прототипу [2] була обрана конструкція ексцентрикового валу з функцією самобалансування, яка представлена на рис.1.

Удосконалення ексцентрикового валу 1 полягає в особливій геометрії ексцентрикової секції, на якій виконано зріз на площині 3, що розташована з боку ексцентриситету ексцентрикової секції. Важливою конструктивною особливістю є те, що центральна лінія цієї площини знаходиться в площині, що утворена лінією центру ексцентриситету та віссю обертання

опорної секції. Для забезпечення прецизійного налаштування встановлюється регулювальна протизавага 2 на зрізі 3 ексцентрикового вала 1.

Під час роботи шоківної дробарки та обертання ексцентрикового вала 1, наявність зрізу на площині 3 у ексцентриковій секції створює спрямований дефіцит маси. Ексцентричний момент цієї секції узгоджується з моментом ексцентрикової частини таким чином, що вони стають протилежними за вектором, забезпечуючи їхню взаємну компенсацію.

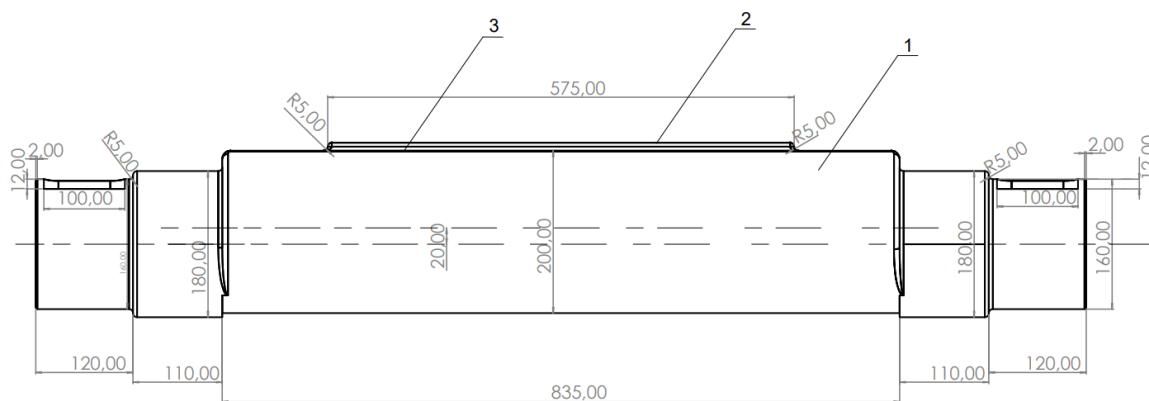


Рисунок 1 – Удосконалена конструкція ексцентрикового вала з самобалансуванням:

1 – ексцентриковий вал; 2 – регулювальна протизавага; 3 – зріз на площині

Для досягнення максимальної точності балансування використовується система змінних елементів регулювальної протизаваги 2. Шляхом зміни кількості або положення елементів протизаваги здійснюється коригування положення центра мас з'єднувальної секції, що дозволяє повністю нівелювати момент інерції під час обертання. Такий підхід забезпечує ефективне самобалансування, що суттєво знижує вібраційні навантаження на підшипники та станину, а також дозволяє повністю відмовитися від використання громіздких зовнішніх балансувальних пристроїв [2].

Висновки. Реалізація запропонованого технічного рішення забезпечує ефективне самобалансування механізму шоківної дробарки безпосередньо у структурі самого вала. Завдяки прецизійній компенсації моментів інерції досягається суттєве зниження рівня вібраційних навантажень на станину та фундамент, що підвищує загальну стабільність роботи. Це сприяє підвищенню довговічності вузла опори рухомої шочи через мінімізацію динамічних реакцій у підшипниках, оптимізує конструкцію шляхом повної відмови від масивних зовнішніх балансувальних елементів та зменшує енерговитрати на подолання залишкового дисбалансу системи.

Перелік посилань

1. Механічні процеси, апарати і машини хімічної технології. Практикум з навчальної дисципліни: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Інжиніринг пакування та пакувального обладнання» спеціальності 131 «Прикладна механіка» та «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / І. О. Мікульонюк ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 53 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/30125>
2. Movable jaw support mechanism and jaw crusher : pat. WO2020042935A1 CHINA / Zhu Xingliang ; Applcat. 16.08.2019 ; Publ. 05.03.2020, 21 p.

Удосконалення теплового регулювання валка вальців для гуми

Вовк В.В., студ., Федірко С.О., студ., Казак І.О., к.п.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано варіант удосконалення валка вальців для гуми. Технічним рішенням є зміна внутрішньої будови валка за рахунок застосування периферійних каналів, обичайки та теплоізолюючої проставки з полімеру, армованого вуглецевим волокном. Така конструкція спрямована на підвищення ефективності теплового регулювання робочої поверхні валка, зменшення непродуктивних теплових втрат і витрати теплоносія.

Ключові слова: вальці для гуми, валок, теплоносій, периферійні канали, теплоізолююча проставка.

Вступ. Вальцювання є одним із поширених способів підготовки та перероблення гумових сумішей. У вальцях для гуми матеріал багаторазово проходить через зазор між двома валками, що обертаються назустріч один одному. У зоні міжвалкового зазору суміш зазнає інтенсивного деформування, перемішування, пластикації та нагрівання, тому стабільність температури робочої поверхні валків значною мірою впливає на якість оброблення матеріалу [1].

Вальці для гуми застосовують у виробництві гумотехнічних виробів, шинний, кабельний та взуттєвий промисловості, а також під час перероблення і підготовки гумових сумішей. Основними перевагами такого обладнання є відносна простота конструкції, зручність обслуговування, можливість швидкої зміни рецептури та отримання матеріалу у вигляді листа. Разом з тим ефективність роботи вальців залежить від рівномірності нагрівання або охолодження валків, оскільки локальні перепади температури можуть погіршувати пластикацію, гомогенізацію та стабільність технологічного процесу.

У традиційних конструкціях валків теплоносій часто рухається через центральний отвір або систему внутрішніх каналів. Однак при значній товщині металевої частини бочки тепловий потік до робочої поверхні може розподілятися недостатньо ефективно. Через високу теплопровідність металу частина теплоти витрачається на нагрівання теплоносія в центральній зоні ще до його надходження до робочої поверхні. Це зумовлює непродуктивні втрати енергії та може збільшувати витрату теплоносія.

Для удосконалення конструкції валка було проведено літературно-патентний огляд і вибрано технічне рішення за прототипом у джерелі [2]. Обраний варіант безпосередньо стосується робочого органа вальців для гуми і передбачає зміну внутрішньої схеми проходження теплоносія. Конструкція такого валка показана на рис. 1.

Удосконалений валок містить бочку 1 і цапфи 2, 3, уздовж яких виконано центральний отвір 4. Уздовж бочки розташовано периферійні канали 5, закриті по кінцях і сполучені з центральним отвором за допомогою проміжних каналів 7. Поверх периферійних каналів розміщена обичайка 9, яка формує робочу поверхню валка. Між центральним отвором і периферійними каналами встановлено теплоізолюючу проставку 10, виготовлену з полімеру, армованого вуглецевим волокном. Під час роботи теплоносій подається через трубу 12 і центральний отвір 4, після чого через проміжні канали 7 надходить у периферійні канали 5. Далі він проходить уздовж бочки поблизу робочої поверхні, переходить у зворотний напрям через інші проміжні канали та виходить із валка через міжтрубний простір центрального отвору. Таке спрямування потоку дає змогу підвести теплоносій ближче до поверхні, яка безпосередньо контактує з гумовою сумішшю [2].

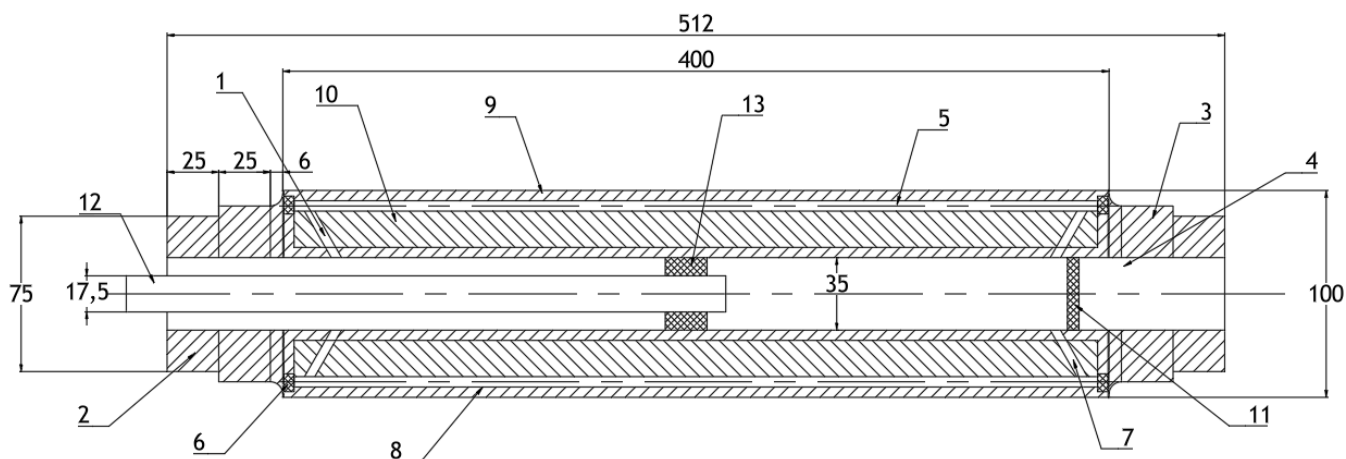


Рисунок 1 – Удосконалена конструкція валка вальців для гуми:

1 – бочка; 2, 3 – цапфи; 4 – центральний отвір; 5 – периферійні канали; 6 – ущільнювальні кільця; 7 – проміжні канали; 8 – зовнішня поверхня; 9 – обичайка; 10 – теплоізолююча проставка; 11 – заглушка; 12 – труба; 13 – ущільнення

Наявність теплоізолюючої проставки є основною відмінністю запропонованої конструкції. Вона зменшує передачу теплоти в напрямку центрального отвору та збільшує частку теплового потоку, спрямованого до обичайки, тобто до робочої поверхні бочки. Оскільки теплопровідність полімеру, армованого вуглецевим волокном, значно менша за теплопровідність чавуну або сталі, проставка працює як тепловий бар'єр і сприяє зниженню непродуктивного нагрівання теплоносія [2].

Запропонована конструкція удосконаленого валка може бути використана для підвищення стабільності температурного режиму під час оброблення гумових сумішей. Більш раціональний рух теплоносія через периферійні канали дає змогу ефективніше впливати на температуру робочої поверхні валка. Це особливо важливо для процесів пластикації, змішування та листування, де перегрів або недостатнє охолодження матеріалу можуть негативно впливати на якість готової суміші.

Висновки. Таким чином, запропонована конструкція удосконаленого валка вальців для гуми дозволяє покращити теплове регулювання робочої поверхні за рахунок застосування периферійних каналів, обичайки та теплоізолюючої проставки. Теплоносій проходить ближче до робочої зони валка, а теплоізолююча проставка зменшує втрати теплоти в напрямку центрального отвору. Удосконалена конструкція валків, що застосовуються у вальцях для гуми, сприяє зниженню енергоємності валка, зменшенню витрати теплоносія та підвищенню стабільності процесу оброблення гумових сумішей.

Перелік посилань

1. 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» / В. І. Сівецький, Д. Е. Сідоров, Д. Г. Швачко. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 112 с. URL: <https://ela.kpi.ua/items/ffa6243c-2f3d-408e-8796-ed109512be0b>
2. Валок валкових машин : пат. 160623U Україна / С.В. Халімонов, Д.Е. Сідоров. № u 202406093 ; заявл. 20.12.2024 ; опубл. 24.09.2025, Бюл. № 39. 4с.

Удосконалення конструкції шнекового живильника на основі застосування шнеку гребінчастою структурою для забезпечення стабільного транспортування матеріалу

Кушнар'єв Р.О., студ., Стерпу А.Е., студ., Казак І.О., к.п.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

З метою запобігання закупорювання при транспортуванні матеріалу, зниження ризику злежування та утворення грудок, а також підвищення надійності роботи запропонована удосконалена конструкція шнека. Конструкція включає шнек з гребінчастою структурою витків. Таке технічне рішення дозволяє здійснювати безперервне очищення стінок шнекового живильника, забезпечуючи стабільне транспортування навіть вологих та схильних до злежування матеріалів.

Ключові слова: шнековий живильник, шнек, витки з гребінчастою структурою, стабільне транспортування, підвищення надійності.

Вступ. Шнекові живильники широко застосовуються в хімічній, будівельній, фармацевтичній та харчовій промисловості завдяки компактності конструкції, герметичності, відносній простоті виготовлення та експлуатації, можливості точного дозування матеріалу та роботі під кутом.

Шнековий живильник призначений для рівномірної та контрольованої подачі сипких, порошкоподібних, гранульованих та навіть в'язких матеріалів. Принцип роботи доволі простий: матеріал із бункера надходить на обертовий шнек, який транспортує його до виходу з корпусу шнекового живильника. Швидкість подачі визначається частотою обертання шнека та його конструкцією [1].

Перевагами шнекових живильників є: конструктивна простота з механічної точки зору, легкість в обслуговуванні і проведенні ремонтів, продуктивність, герметичність.

Недоліками шнекових живильників являються: підвищене стирання механічних частин обладнання (шнека і корпусу), явища ущільнень між витками шнеку, закупорювання при транспортуванні матеріалу.

За результатами літературно-патентного огляду для удосконалення шнекового живильника на основі прототипу [2] була обрана конструкція шнеку з гребінчастою структурою витків, яка представлена на рис.1.

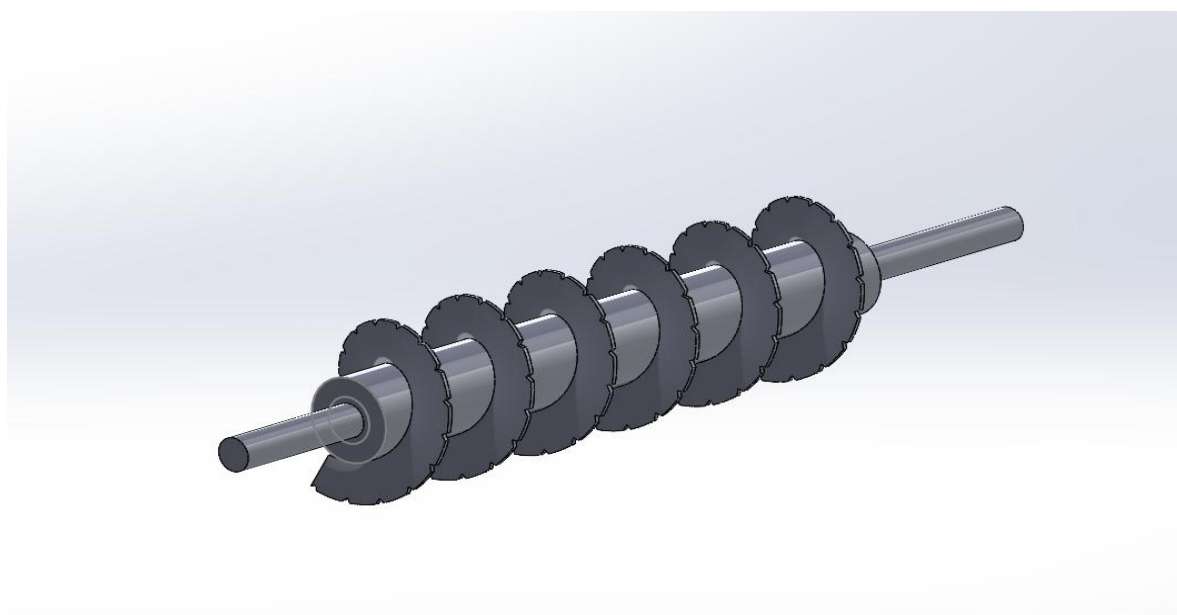


Рисунок 1 – Удосконалена конструкція шнеку з гребінчастою структурою витків

Принцип роботи шнекового живильника з удосконаленим шнеком: ведучий вал шнеку обертається від електродвигуна. Витки шнеку з гребінчастою структурою транспортують матеріал, що дозволяє очищувати стінки корпусу шнекового живильника та розрихлювати матеріал, руйнуючи грудки.

На рис.2 представлено вид збоку витків удосконаленого шнеку з гребінчастою структурою.

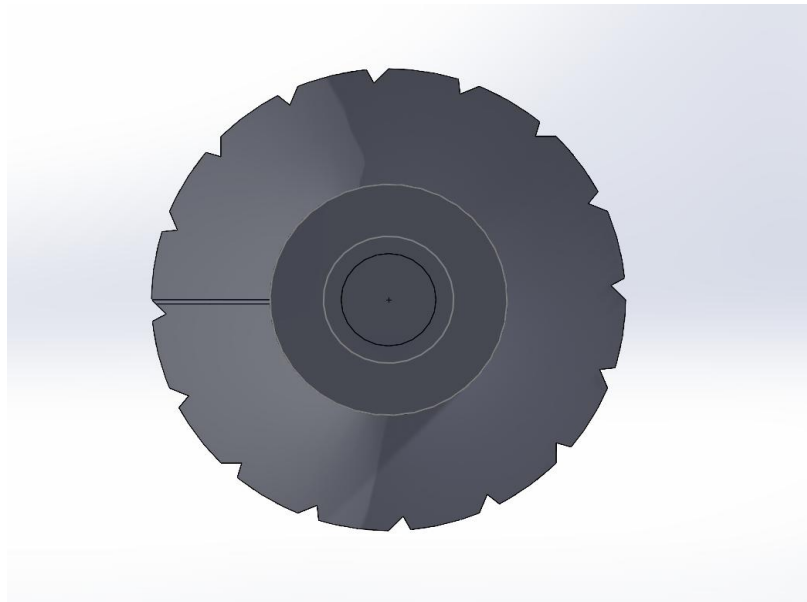


Рисунок 2 – Вид збоку витків удосконаленого шнеку з гребінчастою структурою

Запропонований шнек для шнекового живильника, який містить корпус з вхідним та вихідним патрубками, всередині якого розташований обертовий шнек з зубчастими (пилоподібними) витками з зовнішнього краю витків шнеку, транспортує матеріал.

На основі удосконалення шнеку з гребінчастою структурою можна отримати:

- значного зниження ймовірності зупинок шнекового живильника через закупорювання;
- зменшення трудомісткості обслуговування та очищення;
- підвищення продуктивності та надійності та стабільного транспортування вологих та схильних до злежування матеріалів;
- подовження міжремонтного періоду [2].

Висновки. Запропонована конструкція шнеку з гребінчастою структурою витків дозволяє підвищити ефективність та надійність роботи шнекового живильника. Конструкція удосконаленого шнеку забезпечує запобігання закупорюванню, стабільне транспортування не тільки сипких навіть вологих матеріалів. Розробка може бути рекомендована для впровадження на підприємствах хімічної, будівельної, фармацевтичної та інших галузей промисловості.

Перелік посилань

1. Дозатори, шнекові живильники. URL: <https://technik.ua/produksiia/shnekovi-transportery/dozatori-zhivilniki-shnekoviji>
2. Chemical powder spiral conveyor : pat. CN 224046241 U China / Yang Yujia, Wang Rui ; Applicat. 13.05.2025 ; Publ. 27.03.2026, 8 p.

Екструзійна головка для виробництва виробів з полімерних матеріалів

Іщук В.Є. студ., Загорський І.Б. студ., Гур'єва Л.Н. ас.

Національний технічний університет України

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

Запропоновано вдосконалену конструкцію екструзійної головки, що містить корпус, дорн та обертовий розподільник розплаву у вигляді втулки з радіальними отворами. Таке рішення інтенсифікує гомогенізацію розплаву, усуває застійні зони та зменшує анізотропію властивостей матеріалу. Завдяки формуванню комбінованого потоку суттєво підвищується якість та фізико-механічні характеристики готових виробів.

Ключові слова: екструзія, полімерні матеріали, екструзійна головка, розподіл розплаву, гомогенізація, анізотропія, якість виробів.

Вступ. Екструзія є одним із основних процесів для виробництва полімерних матеріалів. У результаті з'являється можливість виготовлення різноманітних виробів – широке застосування та економічні переваги порівняно з іншими методами формування, включно з плівками, трубами та профілями. Екструзійні матриці є одними з найважливіших компонентів екструзійних ліній. Матриця є однією з первинних частин екструзійної лінії, а її конструкція значною мірою визначає в'язкопружну поведінку, параметри стабільності, та рівномірність розподілу розплаву, що викликає якість готового виробу.

Технічне рішення є переробленням полімерів і застосовується на лініях для виробництва трубчастих плівок, де дуже важливими є рівномірна товщина плівки та ізотропність властивостей матеріалу.

Концептуальні конструкції матриць є дуже прості – екструзійна матриця, що має корпус і дорн, який формує кільцевий зазор. Однак такі конструкції відомі нерівномірним формуванням розплаву по окружності зазору, що викликає підвищену товщину, яка коливається, з погіршенням робочих характеристик.

Технічно це найбільш близько до екструзійної головки з матрицею, яка також використовується з обертовим розподільником розплаву. Така конструкція покращує розподіл потоку, але вона просто не може повністю прибрати зони застою. Такі зони знижують якість розплаву та можуть призводити до локального перегрівання.

Виклад основного матеріалу. Запропоноване технічне рішення базується на ASIC (автоматичне керування поверхневою інтенсивністю) для покращення якості полімерних виробів. Це робиться шляхом інтенсифікації перемішування та перерозподілу розплаву, зменшення його анізотропних властивостей, а також усунення зон застою в робочому об'ємі екструзійної головки із матрицею.

Екструзійна головка з матрицею, яка складається з корпусу з інтегрованим оправленням та розподільника розплаву, яка має обертальну конструкцію, відповідає вимогам. Розподільник розплаву має вигляд втулки з радіальними отворами; між корпусом та оправленням є зазор. Конструкція дозволяє здійснювати багаторазові перерозподіли та взаємодії всіх окремих ліній потоку, утворюючи складну структуру потоку розплаву.

Екструзійна головка складається з корпусу 1 з кільцевим формувальним зазором 2, оправлення 3 з розподільником 4, з'єднаним з каналом подачі розплаву 5, та втулки 6 з радіальними отворами 7. Втулка, яка принаймні частково охоплює оправлення 3 у зібраному положенні, обертається завдяки зубчастого приводу та відповідно зношуваних кільцевих каналів, які утворені між нею та корпусом. Клиноподібна геометрія поверхні дає напрямок потоку матеріалу та зменшує гідравлічний опір.

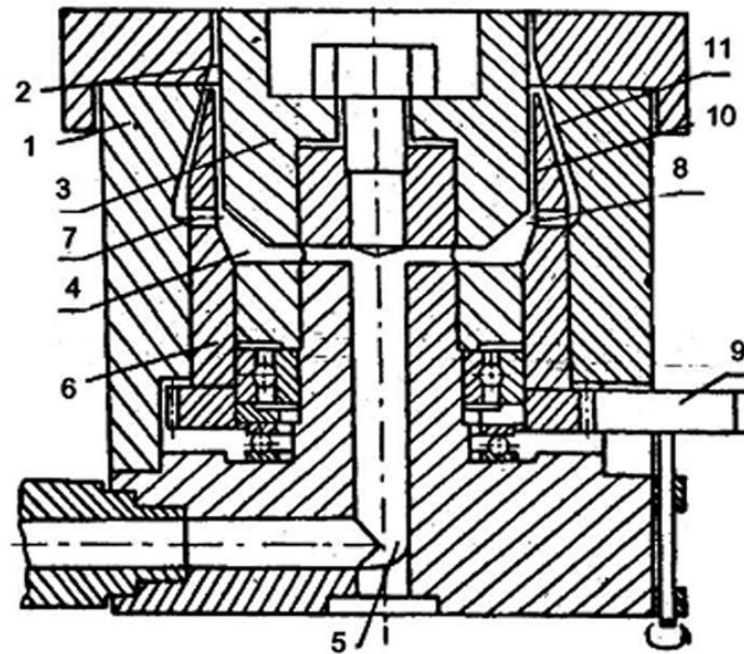


Рисунок 1 – Конструкція екструзійної головки для виробництва виробів з полімерних матеріалів відповідно до пат. України 60882 U (пояснення в тексті)

Пристрій розділяє розплав на кілька потоків. Більша частина розплаву подається через канал, потрапляє в розподільник, а потім тече через радіальні прорізи в сопло всередину корпусу. Завдяки обертовій втулці розплав рівномірно розподіляється по всій його окружності. Друга частина розплаву спрямовується в кільцевий канал, а потім у зазор, де він твердне.

Характерною особливістю є те, що потоки розплаву з різними траєкторіями змішуються та заплутуються в зазорі [3]. Це спричиняє зсув, покращує перемішування та призводить до порушення орієнтованої структури розплаву. Це зменшує поздовжнє вирівнювання макромолекул, що значною мірою відповідає за анізотропію властивостей полімерних матеріалів.

Крім того, обертання втулки запобігає утворенню зон застою, які виникають у зонах з низькими швидкостями потоку. Ці зони є критичні, оскільки їх усунення запобігає термічному розкладу матеріалу, локальному перегріву та деполімеризації полімеру. Це дуже важливо для термочутливих матеріалів.

Ще однією перевагою є адаптація умов до тих, що необхідні для виробництва багатошарових структур, оскільки поєднання потоків рідини з різних джерел сприяє покращенню фізичних та механічних властивостей виробів. Це підтверджує міцністю плівки та покращена однорідність. У результаті, експлуатаційні характеристики плівок значно покращуються.

Висновок. Запропонована конструкція покращує подачу та змішування розплаву завдяки обертовій втулці з радіальними отворами. Це забезпечує рівномірність потоку, ліквідує застійні зони, мінімізує перегрів та анізотропію властивостей матеріалу. Рішення є оптимальним для виробництва трубчастих плівок, де критичними є стабільність процесу та якість готових виробів.

Перелік посилань

1. Мікульонюк І.О. Технологія перероблення полімерів : підруч. 5-те вид., переробл. та доповн. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 314 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74268>
2. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів: навч. посіб. / І. О. Мікульонюк, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 200 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25367>

Черв'ячна машина для перероблення матеріалів з використанням високомолекулярних сполук

Шевцов А.О. студ., Луцевят І.О. студ., Гур'єва Л.Н. ас.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано конструкцію черв'ячної машини для перероблення матеріалів з використанням високомолекулярних сполук, яка містить корпус із завантажувальним і розвантажувальним отворами, а також розміщений у ньому з можливістю обертання черв'як. Черв'як має щонайменше одну диспергувальну ділянку, основа якої з боку розвантажувального отвору корпусу більша за основу з боку завантажувального отвору. При цьому основу диспергувальної ділянки з боку розвантажувального отвору виконано круглою, а основу з боку завантажувального отвору – опуклою з формою, відмінною від круглої, зокрема у вигляді овала або правильного багатокутника. Таке виконання забезпечує інтенсивне диспергування, перемішування та подрібнення матеріалу за рахунок стискання, зсуву і стирання, що підвищує ефективність перероблення полімерів, пластмас і гумових сумішей та дозволяє отримувати високоякісний тонкодисперсний порошок.

Ключові слова: черв'ячна машина, високомолекулярні сполуки, диспергувальна ділянка, перероблення полімерів, екструдер, подрібнення матеріалів, диспергування, гумові суміші.

Вступ. Запропоноване технічне рішення стосується обладнання для перероблення високомолекулярних сполук і матеріалів на їх основі, зокрема черв'ячних екструдерів, та може використовуватися як для виготовлення різноманітної продукції, так і для утилізації відходів полімерних і гумових матеріалів [1-7].

Найбільш близькою за технічною сутністю до запропонованого рішення є черв'ячна машина для перероблення матеріалів з використанням високомолекулярних сполук, що містить корпус із завантажувальним і розвантажувальним отворами, а також розміщений у ньому з можливістю обертання черв'як із диспергувальною ділянкою циліндричної форми. Проте така конструкція не забезпечує достатньо інтенсивного диспергувально-змішувального ефекту та є схильною до забивання під час перероблення відходів.

Виклад основного матеріалу. В основу запропонованого технічного рішення покладено задачу вдосконалення черв'ячної машини для перероблення матеріалів з використанням високомолекулярних сполук, у якій нове конструктивне виконання диспергувальної ділянки черв'яка забезпечує ефективне перемішування та подрібнення твердих, жорстких і еластичних матеріалів у різному вигляді за рахунок стискання, зсуву та стирання, що дозволяє отримувати високоякісний тонкодисперсний продукт.

Поставлену технічну задачу вирішують тим, що в черв'ячній машині для перероблення матеріалів з використанням високомолекулярних сполук, яка містить корпус із завантажувальним і розвантажувальним отворами, а також розміщений у ньому з можливістю обертання черв'як, що має щонайменше одну диспергувальну ділянку, основа якої з боку розвантажувального отвору корпусу більша за основу з боку завантажувального отвору, відповідно до запропонованого технічного рішення новим є те, що основу диспергувальної ділянки з боку розвантажувального отвору виконано круглою, а основу з боку завантажувального отвору – опуклою з формою, відмінною від круглої [8-10]. У переважному варіанті виконання основу диспергувальної ділянки може бути виконано у вигляді овала або правильного багатокутника (пат. № UA70008U).

Конструктивні особливості запропонованого технічного рішення пояснюються кресленнями, на яких наведено схему будови вдосконаленої черв'ячної машини (рис. 1).

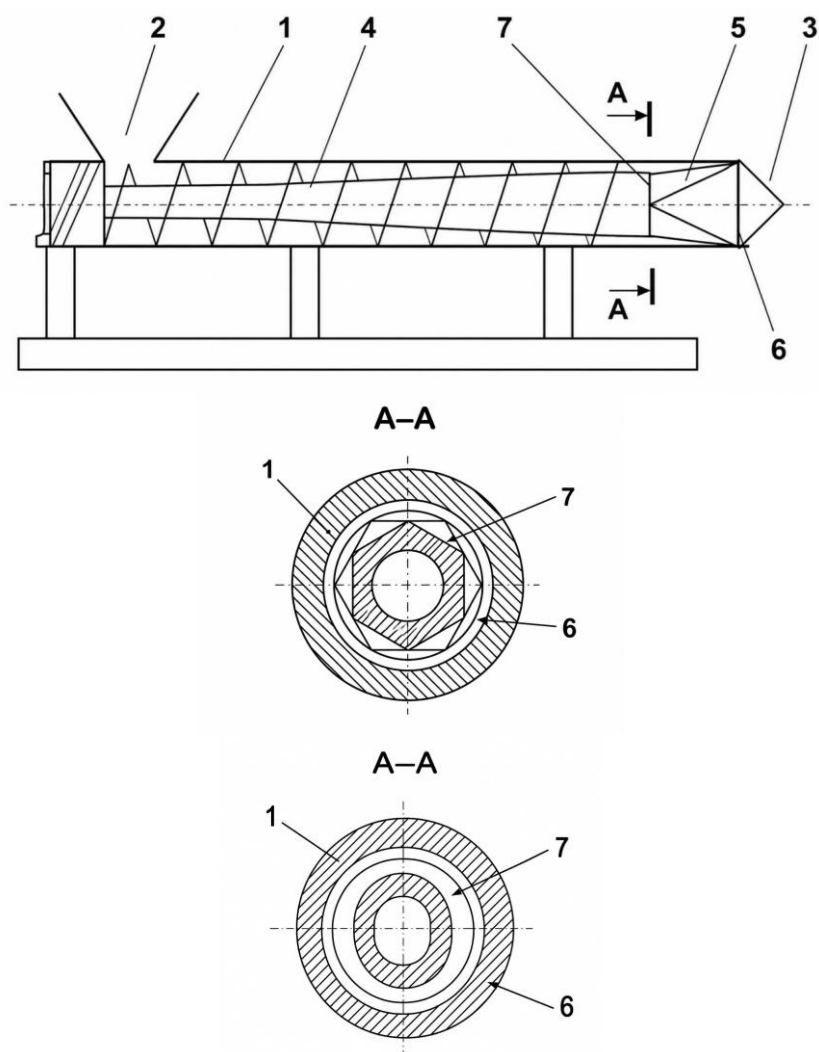


Рисунок 1 – Конструкція черв'ячної машини для перероблення матеріалів з використанням високомолекулярних сполук

Запропонована черв'ячна машина містить корпус 1 із завантажувальним 2 і розвантажувальним 3 отворами, а також розміщений у ньому з можливістю обертання черв'як 4, що має диспергувальну ділянку 5. Основа 6 диспергувальної ділянки 5 з боку розвантажувального отвору 3 виконана круглою, а основа 7 з боку завантажувального отвору 2 – опуклою з формою, відмінною від круглої. Основа 7 може бути виконана у вигляді правильного багатокутника або овала. Поверхню диспергувальної ділянки 5 черв'яка 4 та/або відповідну поверхню корпусу 1 може бути оснащено подрібнювальними виступами для підвищення ефективності процесу диспергування та змішування матеріалу.

Черв'ячна машина працює так.

Матеріал, що підлягає переробленню, надходить через завантажувальний отвір 2 корпусу 1, де захоплюється нарізкою черв'яка 4 та транспортується у напрямку до розвантажувального отвору 3. У процесі переміщення матеріалу вздовж черв'яка відбуваються його ущільнення, подрібнення, перемішування та гомогенізація. На диспергувальній ділянці 5 відбувається інтенсивне диспергування та змішування матеріалу за рахунок стискання, зсуву і стирання. Це досягається завдяки спеціальній формі основи 7 диспергувальної ділянки, яка виконана опуклою та відмінною від круглої. Під час обертання черв'яка форма робочого каналу безперервно змінюється в коловому напрямку, що створює додаткові зони деформації та підвищує ефективність процесу перероблення матеріалу.

У випадку виконання основи 7 у вигляді правильного багатокутника або овала утворюються проміжки змінної геометрії, у яких забезпечується додаткове інтенсивне подрібнення та перемішування матеріалу. Поверхня диспергувальної ділянки 5 черв'яка 4 та/або внутрішня поверхня корпусу 1 можуть бути оснащені подрібнювальними виступами, що додатково підвищує ефективність процесу диспергування.

Запропонована конструкція черв'ячної машини забезпечує ефективне перероблення полімерів, пластмас, еластомерів і гумових сумішей широкої номенклатури, а також дозволяє здійснювати утилізацію відходів. Використання диспергувальної ділянки змінної геометрії сприяє підвищенню інтенсивності перемішування та подрібнення матеріалу й забезпечує отримання високоякісного тонкодисперсного продукту.

Висновок. Завдяки запропонованому конструктивному виконанню черв'ячної машини підвищується ефективність диспергування, змішування та подрібнення матеріалів, зменшується ймовірність забивання робочого каналу, а також забезпечується стабільність технологічного процесу перероблення високомолекулярних сполук.

Перелік посилань

1. Polymer Processing: Principles and Modeling. 2nd ed. / J.-F. Agassant, P. Avenas, P. J. Carreau et al. Munich : Carl Hanser Verlag, 2017. 841 p.
2. Mikulionok I.O. Classification of Processes and Equipment for Manufacture of Continuous Products from Thermoplastic Materials // Chemical and Petroleum Engineering. 2015. Vol. 51, № 1–2. P. 14–19. DOI: 10.1007/s10556–015–9990–6.
3. Мікульонок І.О. Технологічні основи перероблення полімерів, пластмас і гумових сумішей. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 312 с.
5. Мікульонок І.О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів : навч. посіб. 3–те вид., перероб. та допов. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 296 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/68766>.
4. Мікульонок І.О. Технологія перероблення полімерів : підруч. 5–те вид., перероб. та допов. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 314 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74268>.
5. Mikulionok I.O. Classification of Screw Cooling Devices of Single-Screw Extruders for Polymer Materials Processing (Survey of Designs) // Chemical and Petroleum Engineering. 2022. Vol. 58, № 1–2. P. 68–73. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556–022–01057–5>.
6. Rauwendaal C. Polymer extrusion. 5th ed. Munich: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2014. 950 p. – <https://doi.org/10.3139/9781569905395>.
7. Мікульонок І.О., Сокольський О.Л. Полімерні матеріали і вироби з них (одержання, перероблення, властивості) : термінол. слов. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 208 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37632>.
8. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів / І. О. Мікульонок, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 200 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25367>.
9. Мікульонок І.О., Радченко Л.Б. Полімерні композитні матеріали й вироби з них. Одержання, перероблення та властивості : термінол. словник. Київ : ІВЦ «Видавництво “Політехніка”», 2005. 179 с.
10. Vlachopoulos J., Vlachopoulos N.D. Understanding rheology and technology of polymer extrusion. Dundas, ON, Canada: Polydynamics Inc., 2019. 337 p. – http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/Rheo_Tech_Book_Part_A.pdf.

Насадка тепломасообмінного апарата у вигляді опукло-увігнутої оболонки

Гунчар Д.О., студ., Віновет І.О., студ., Мікульонок І.О., д.т.н., проф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано конструкцію насадки тепломасообмінного апарата, яка містить пряму циліндричну оболонку з двома відкритими основами, при цьому оболонка в поперечному перерізі має форму опукло-увігнутого овала Кассіні зі співвідношенням довжини до ширини 2:1. Конструкція насадки забезпечує збільшення її питомої поверхні, а також вирівнювання гідродинамічних умов усередині елементів насадки і в просторі між ними, що поліпшує процес тепломасообміну.

Ключові слова: хімічна технологія, тепломасообмінний апарат, насадка, оболонка, овал Кассіні.

Вступ. Розроблене технічне рішення належить до обладнання хімічних, нафтохімічних, нафтопереробних, харчових і споріднених виробництв, а також теплоенергетики, зокрема до регулярних насадок тепломасообмінних апаратів і може бути використане в ректифікаційних, абсорбційних, десорбційних та екстракційних колонних апаратах [1–5].

Найближчою до пропонованого технічного рішення є насадка тепломасообмінного апарата, що містить пряму циліндричну оболонку з двома відкритими основами, при цьому оболонка має форму прямого кругового циліндра (так зване кільце Рашига) [6]. Ця насадка характеризується високою технологічністю, адже може бути виготовлена штампуванням з круглої трубчастої заготовки без застосування складальних операцій [7, 8].

Проте, незважаючи на простоту конструкції, виготовлення та обслуговування, ця насадка має відносно невелику питому поверхню. Крім того, в разі улаштування з цих насадок шару регулярної насадки внаслідок особливості їхньої форми (кругового циліндра) утворюються нерівномірні гідродинамічні умови всередині елементів насадки і в просторі між ними, що погіршує умови тепломасообміну в апараті [9].

Виклад основного матеріалу. В основу пропонованого технічного рішення покладено задачу вдосконалити насадку тепломасообмінного апарата, у якій її нове конструктивне виконання забезпечує збільшення питомої поверхні, а також вирівнювання гідродинамічних умов усередині елементів насадки і в просторі між ними, що поліпшує процес тепломасообміну.

Поставлену задачу вирішують тим, що в насадці тепломасообмінного апарата, що містить пряму циліндричну оболонку з двома відкритими основами, згідно з пропонованим технічним рішенням новим є те, що оболонка в поперечному перерізі має форму опукло-увігнутого овала Кассіні зі співвідношенням довжини до ширини 2:1 (пат. № UA161692U).

У найприйнятнішому прикладі виконання насадки оболонку оснащено двома внутрішніми центральними розташованими взаємно перпендикулярними поздовжніми перегородками.

Суть пропонованого технічного рішення пояснюється рисунком, на якому наведено вигляд насадки з боку однієї з її основ (два варіанти), а також приклад розташування насадок у межах одного шару контактної частини тепломасообмінного апарата (рис. 1).

Пропонована насадка містить пряму циліндричну оболонку з двома відкритими основами, яка в поперечному перерізі має форму опукло-увігнутого овала Кассіні зі співвідношенням довжини до ширини 2:1.

При цьому оболонку може бути оснащено двома внутрішніми центральними розташованими взаємно перпендикулярними поздовжніми перегородками.

Насадка працює так.

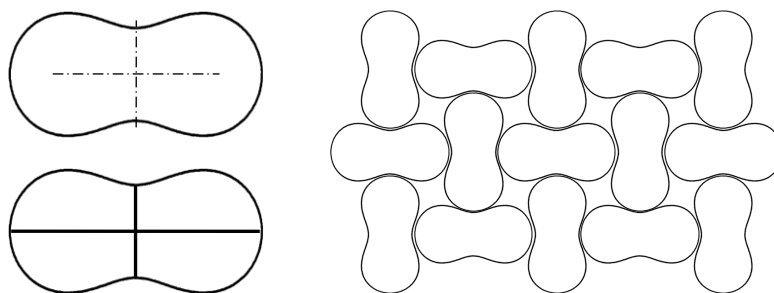


Рисунок 1 – Конструкція насадки відповідно до пат. України UA161692U (пояснення в тексті)

Сукупність насадок у вертикальному положенні щільно укладають рядами в тепломасообмінний апарат: перший шар на підтримувальну решітку, а кожний наступний – на попередній шар. При цьому кожний шар елементів насадки формують у вигляді рядів зі взаємним поворотом сусідніх елементів насадки на 90° , а сусідні ряди зміщують один відносно одного для забезпечення щільного укладання елементів насадки в межах кожного шару. Після цього в апарат, зазвичай протитечією, подають оброблювані фази, які, проходячи крізь контакту частину апарата, інтенсивно взаємодіють одна з одною. Також елементи насадки можуть бути укладені на підтримувальну решітку тепломасообмінного апарата безладно, проте такий спосіб укладання пропонуваних насадки менш ефективний.

Висновок. Завдяки зазначеному конструктивному виконанню пропонується насадка забезпечує простоту її виготовлення, а також високу ефективність тепломасообмінного процесу.

Перелік посилань

1. Perry's Chemical Engineers' Handbook / D.W. Green, M.Z. Southard (Eds.). 9th ed. Columbus, Ohio : McGraw-Hill Education, 2019. 2272 p. URL: https://www.academia.edu/117788051/Perrys_Chemical_Engineers_Handbook.
2. Distillation: Equipment and Processes / A. Górak, Ž. Olujić (Eds.). London : Elsevier Inc., 2014. 374 p. URL: https://www.academia.edu/33304932/Distillation_Equipment_and_Processes.
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. Мікульонок І.О. Контактні та допоміжні пристрої тепломасообмінних колон. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 194 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50142>.
5. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., ГОТЛІНСЬКА А.П., ЛЕЩЕНКО В.О., НЕЧИПОРЕНКО І.О., ЧЕРНИШОВ І.С. Процеси та апарати хімічної технології. Харків : НТУ «ХПІ», 2024. 1016 с. URL: <https://web.kpi.kharkov.ua/itpa1/nmkd-obovyazkovi/>.
6. Мікульонок І.О. Масообмінні процеси та обладнання виробництва полімерних і будівельних матеріалів і виробів. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 198 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/77339>.
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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00853-9>.
8. Мікульонок І.О. Виготовлення обладнання хімічних виробництв. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 236 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50358>.
9. Мікульонок 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. DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2025.325834>.

Насадка-трансформер тепломасообмінного апарата

Козловський І.А., студ., Бернадін В.М., студ., Мікульонок І.О., д.т.н., проф.

Національний технічний університет України

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

Запропоновано конструкцію насадки тепломасообмінного апарата, що виконана у вигляді сукупності з'єднаних між собою прямокутних пластин, кожна з яких має поздовжній виступ у формі циліндричного сегмента на одній із своїх крайок, а також розташовані на одній з її бічних поверхонь паралельно поздовжньому виступу наскрізними пазами у формі циліндричних сегментів. Конструкція насадки забезпечує можливість формувати насадку різного типорозміру, зокрема у вигляді правильних багатогранників для щільного заповнення насадкою контактної частини тепломасообмінного апарата.

Ключові слова: хімічна технологія, тепломасообмінний апарат, насадка, типорозмір, трансформер.

Вступ. Розроблене технічне рішення належить до обладнання хімічних, нафтохімічних, нафтопереробних, харчових і споріднених виробництв, а також теплоенергетики, зокрема до регулярних насадок тепломасообмінних апаратів і може бути використане в ректифікаційних, абсорбційних, десорбційних та екстракційних колонних апаратах [1–5].

Найближчою до пропонованого технічного рішення є насадка тепломасообмінного апарата, що виконана у вигляді сукупності з'єднаних між собою прямокутних пластин, кожна з яких має поздовжній виступ у формі циліндричного сегмента на одній із своїх крайок, а також розташовані на одній з її бічних поверхонь паралельно поздовжньому виступу наскрізними пазами у формі циліндричних сегментів (пат. № CN215611618U). Завдяки комбінуванню кількості пластин та їх взаємного з'єднання між собою зазначена насадка має дає змогу змінювати її форму й розміри залежно від умов процесу тепломасообміну. Проте її конструкція не дає змоги формувати правильні багатогранники, наприклад, прямі правильні шестикутні призми, для щільного заповнення насадкою контактної частини тепломасообмінного апарата, що погіршує умови проходження процесу тепломасообміну.

Виклад основного матеріалу. В основу пропонованого технічного рішення покладено задачу вдосконалити насадку тепломасообмінного апарата, в якій її нове конструктивне виконання забезпечує можливість формувати насадку різного типорозміру, зокрема у вигляді правильних багатогранників для щільного заповнення насадкою контактної частини апарата.

Поставлену задачу вирішують тим, що в насадці тепломасообмінного апарата, що виконана у вигляді сукупності з'єднаних між собою прямокутних пластин, кожна з яких має поздовжній виступ у формі циліндричного сегмента на одній із своїх крайок, а також розташовані на одній з її бічних поверхонь паралельно поздовжньому виступу наскрізними пазами у формі циліндричних сегментів, згідно з пропонованим технічним рішенням новим є те, що на крайці пластини, протилежній її крайці з поздовжнім виступом, виконано наскрізний паз у формі циліндричного сегмента, при цьому наскрізні пази у формі циліндричних сегментів виконано також на іншій бічній поверхні прямокутної пластини, а поздовжні виступи й наскрізні пази прямокутних пластин мають однакові форму й розміри поперечного перерізу (пат. № UA161964U). У найприйнятнішому прикладі виконання насадки вона містить щонайменше одну додаткову прямокутну пластину з двома поздовжніми виступами у формі циліндричного сегмента на двох протилежних крайках, довжина якої відрізняється від довжини кожної з прямокутних пластин.

Ця насадка характеризується високою технологічністю, адже може бути виготовлена штампуванням з круглої трубчастой заготовки без застосування складальних операцій [6, 7].

Суть пропонованого технічного рішення пояснюється рисунком, на якому наведено одну з прямокутних пластин, а також складену з них насадку (рис. 1).

Прямокутні пластини та/або додаткові прямокутні пластини також можуть мати

перфорацію, при цьому взаємне з'єднання між собою прямокутних пластин і додаткових прямокутних пластин дає змогу формувати насадку різного типорозміру. Також за допомогою прямокутних пластин та/або додаткових прямокутних пластин можна з'єднувати між собою також сусідні насадки (у межах певного шару насадки), створюючи потрібну просторову структуру контактної частини тепломасообмінного апарата.

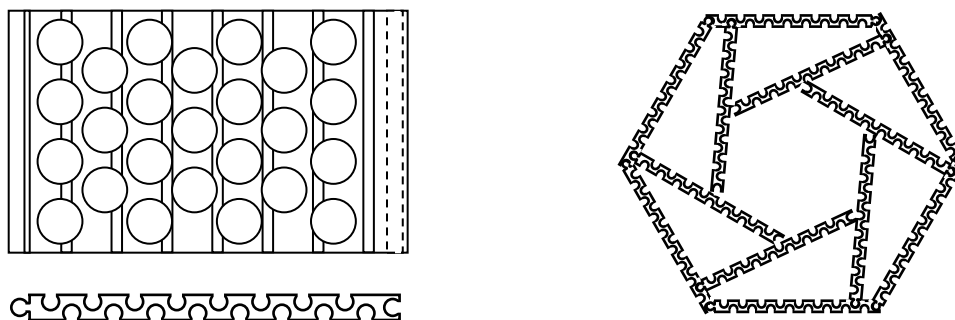


Рисунок 1 – Конструкція насадки відповідно до пат. України UA161964U (пояснення в тексті)

Залежно від особливостей проходження тепломасообмінного процесу з прямокутних пластин з можливим додаванням додаткових прямокутних пластин складають елементи насадки потрібного типорозміру, після чого їх у вертикальному положенні щільно укладають рядами в тепломасообмінний апарат: перший шар на підтримувальну решітку, а кожний наступний – на попередній шар, причому шари бажано змістити один відносно одного, зазвичай на половину ширини основи елемента. Після цього в апарат, зазвичай протитечею, подають оброблювані фази, які, проходячи крізь контакту частину апарата, інтенсивно взаємодіють одна з одною.

Висновок. Завдяки зазначеному конструктивному рішенню забезпечується можливість формувати насадку різного типорозміру.

Перелік посилань

1. Distillation: Equipment and Processes / A. Górak, Ž. Olujić (Eds.). London : Elsevier Inc., 2014. 374 p. URL: https://www.academia.edu/33304932/Distillation_Equipment_and_Processes.
2. 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.
3. Мікульонок І.О. Контактні та допоміжні пристрої тепломасообмінних колон. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 194 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50142>.
4. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., ГОТЛІНСЬКА А.П., ЛЕЩЕНКО В.О., НЕЧИПОРЕНКО І.О., ЧЕРНИШОВ І.С. Процеси та апарати хімічної технології. Харків : НТУ «ХПІ», 2024. 1016 с. URL: <https://web.kpi.kharkov.ua/itpa1/nmkd-obovyazkovi/>.
5. Мікульонок І.О. Масообмінні процеси та обладнання виробництва полімерних і будівельних матеріалів і виробів. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 198 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/77339>.
6. 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00853-9>.
7. Мікульонок І.О. Виготовлення обладнання хімічних виробництв. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 236 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50358>.

Удосконалення змішувальної ділянки корпусу одношнекового преса

Шапран Д.Р., студ., Швець Д.А., студ., Мікульонок І.О., д.т.н., проф., Витвицький В.М., PhD, ас.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано шнековий прес, що містить порожнистий корпус із завантажувальним і розвантажувальним отворами, розміщений у корпусі з утворенням робочого каналу обертовий шнек з гвинтовою нарізкою, а також виконані в стінці корпусу рівномірно щонайменше по одному колу отвори для розміщення в них конічних штифтів з виходом у робочий канал, при цьому зазначені отвори розташовані по дотичній до внутрішньої поверхні порожнини корпусу, а в місцях розташування штифтів у гребені гвинтової нарізки шнека виконано розриви. Це технічне рішення забезпечує згладжування робочого каналу в місцях розташування штифтів, що дає змогу знизити гідравлічний опір преса, а також гальмування потоку розплаву перероблюваного матеріалу, що у свою чергу знижує енергоємність процесу пресування (екструзії).

Ключові слова: перероблення полімерів, одношнековий прес, корпус, змішувальна ділянка, штирі, застійна зона.

Вступ. Одношнекові преси широко використовуються для перероблення полімерних матеріалів, гумових сумішей і рослинної сировини [1–9]. При цьому основними робочими органами одношнекового преса, які забезпечують потрібні властивості перероблюваного матеріалу перед його формуванням, є корпус і розташований у ньому обертовий шнек.

Найближчим аналогом є шнековий прес, що містить порожнистий корпус із завантажувальним і розвантажувальним отворами, розміщений у порожнині корпусу з утворенням робочого каналу й можливістю обертання шнек з гвинтовою нарізкою, а також виконані в стінці корпусу рівномірно щонайменше по одному колу отвори для розміщення в них штифтів з виходом у робочий канал, при цьому отвори для розміщення в них штифтів розташовані по дотичній до внутрішньої поверхні порожнини корпусу, в місцях розташування штифтів у гребені гвинтової нарізки шнека виконано розриви, а розміщені в порожнині корпусу ділянки штифтів виконано циліндричними (пат. № US5324108A). Зазначені циліндричні штифти створюють підвищений гідравлічний опір, а також гальмують потік розплаву перероблюваного матеріалу.

Виклад основного матеріалу. В основу пропонованого технічного рішення поставлено завдання вдосконалити шнековий прес, у якому нове конструктивне виконання його циліндра забезпечує згладжування робочого каналу в місцях розташування штифтів, що дає змогу знизити гідравлічний опір преса, а також гальмування потоку розплаву перероблюваного матеріалу, що знижує енергоємність процесу пресування.

Поставлену задачу вирішують тим, що, на відміну найближчого аналога, розміщені в порожнині корпусу ділянки штифтів виконано конічними. Таке виконання штифтів забезпечує згладжування робочого каналу в місцях їх розташування, що повністю усуває умови виникнення застійних зон з їхньої тильної сторони, а отже знижує гідравлічний опір преса, а також гальмування потоку розплаву перероблюваного матеріалу.

Крім того, одночасно з'являється можливість надання потоку розплаву перероблюваного матеріалу незначного обертового руху, що поліпшує змішувально-диспергувальна здатність преса. Це забезпечується відповідним спрямуванням розміщених у порожнині корпусу ділянок штифтів: або в напрямку обертання шнека, або в протилежному напрямку. У першому разі розплав трохи прискорюється в напрямку формувальної головки, а в другому – трохи пригальмовується.

Суть удосконалення демонструє рисунок 1.

Шнековий прес містить порожнистий корпус 1 із завантажувальним 2 і розвантажувальним 3 отворами, розміщений у порожнині корпусу 1 з утворенням робочого каналу 4 і

можливістю обертання шнека 5 з гвинтовою нарізкою, а також виконані в стінці корпусу 1 рівномірно щонайменше по одному колу отвори 6 для розміщення в них штифтів 7 з виходом у робочий канал 4. Отвори 6 розташовані по дотичній до внутрішньої поверхні 8 порожнини корпусу 1, а в місцях розташування штифтів 7 у гребені 9 гвинтової нарізки шнека 5 виконано розриви 10, при цьому розміщені в робочому каналі 4 ділянки штифтів 7 виконано конічними. Розміщені в робочому каналі 4 ділянки штифтів 7 спрямовані в напрямку обертання шнека 5 або спрямовані в напрямку, протилежному напрямку обертання шнека 5.

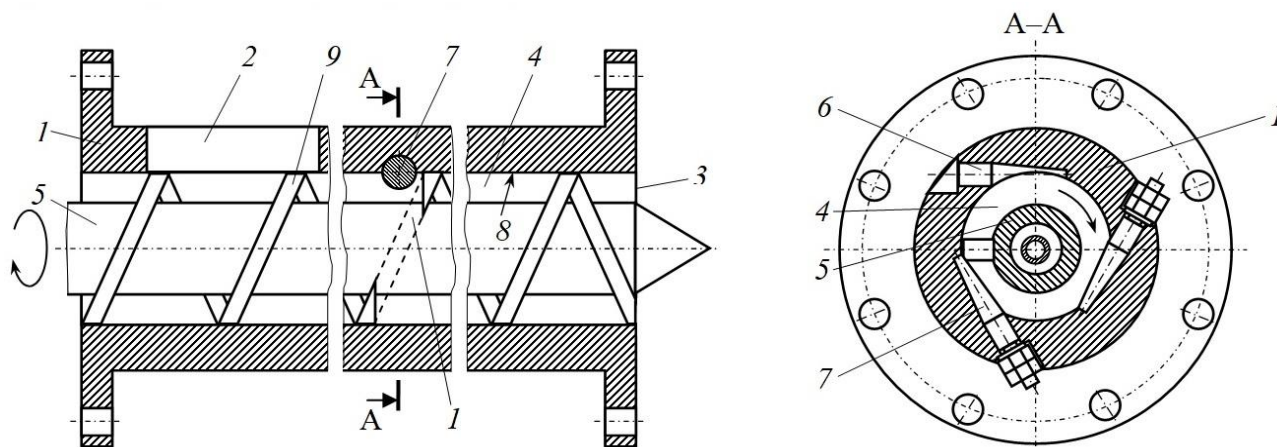


Рисунок 1 – Змішувальна ділянка корпусу одношнекового преса (заявка № u 2026 01851)

Висновок. Використання запропонованого технічного рішення підвищує ефективність перероблення матеріалів широкої номенклатури з одержанням екструдату високої якості.

Перелік посилань

1. Tadmor Z., Gogos C. G. Principles of polymer processing. 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. 961 p. URL: <http://www3.fi.mdp.edu.ar/procesamiento1/material/Tadmor-Gogos.pdf>
2. Мікульонюк І. О., Радченко Л. Б. Переробка вторинної сировини екструзією. Київ : НТУУ «КПІ», 2006. 184 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38062>
3. Mikulionok I. O. Screw extruder mixing and dispersing units // Chemical and Petroleum Engineering. 2013. Vol. 49, № 1–2. P. 103–109. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-013-9711-y>
4. Rauwendaal C. Polymer extrusion. 5th ed. Munich : Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2014. 950 p. URL: <https://doi.org/10.3139/9781569905395>
5. Vlachopoulos J., Polychronopoulos N. D. Understanding Rheology and Technology of Polymer Extrusion. Dundas : Polydynamics Inc, 2019. 337 p. URL: http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/Rheo_Tech_Book_Part_A.pdf
6. Мікульонюк І. О. Інноваційні змішувачі хімічної технології. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 132 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49568>
7. Мікульонюк І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 296 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/68766>
8. Mikulionok I. Classification and analysis of designs of screw presses for oil raw materials // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки. 2024. Вип. Т. 24, № 1. С. 23–52. DOI: <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-2>
9. Мікульонюк І. О. Технологія перероблення полімерів. 5-те вид., перероб. та допов. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 314 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74268>

Удосконалення наконечника шнека одношнекового преса

Іванюк О.Є., студ., Гануш Р.О., студ., Мікульонок І.О., д.т.н., проф., Витвицький В.М., PhD, ас.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано шнек преса, що містить осердя з послідовно розташованими хвостовиком, спорядженою гвинтовою нарізкою робочою ділянкою, а також знімним наконечником з вершиною на поздовжній осі осердя, при цьому наконечник виконано з поперечним перерізом у вигляді правильного многокутника Рело. Це технічне рішення забезпечує плавний змінний градієнт швидкості розплаву перероблюваного матеріалу ззовні наконечника шнека, що підвищує його диспергуючо-змішувальну здатність на вході у формувальну головку, а отже й поліпшує остаточне підготування розплаву полімерного матеріалу перед його формуванням та якість одержуваного екструдату.

Ключові слова: перероблення полімерів, одношнековий прес, розплав полімеру, наконечник шнека, многокутник Рело.

Вступ. Одношнекові преси широко використовуються для перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей [1–8]. При цьому одним з важливих конструктивних елементів одношнекового преса є наконечник шнека, який розташований в робочому каналі безпосередньо на вході у формувальну головку та забезпечує рівномірне подавання гомогенізованого розплаву матеріалу в формувальний канал головки.

Найближчим аналогом є шнек, що містить осердя з послідовно розташованими хвостовиком, спорядженою гвинтовою нарізкою робочою ділянкою, а також знімним наконечником у вигляді кругового конуса з вершиною на поздовжній осі осердя (пат. № UA137428U).

Виклад основного матеріалу. В основу запропонованого технічного рішення поставлено завдання вдосконалити наконечник шнека, який відіграє важливу роль у рівномірному подаванні в формувальну головку розплаву перероблюваного матеріалу. Запропоноване технічне рішення забезпечує плавний змінний градієнт швидкості розплаву полімерного матеріалу ззовні наконечника шнека, що підвищує його диспергуючо-змішувальну здатність на вході у формувальну головку, а отже й поліпшує остаточне підготування розплаву полімерного матеріалу перед його формуванням та якість одержуваного екструдату.

Поставлену задачу вирішують тим, що в шнеку преса, що містить осердя з послідовно розташованими хвостовиком, спорядженою гвинтовою нарізкою робочою ділянкою, а також знімним наконечником змінного поперечного перерізу з вершиною на поздовжній осі осердя, згідно з запропонованим технічним рішенням новим є те, що наконечник виконано з поперечним перерізом у вигляді правильного многокутника Рело. У переважному прикладі виконання шнека кількість кутів правильного многокутника Рело не менше чотирьох.

Виконання наконечника шнека з поперечним перерізом у вигляді правильного многокутника Рело (англ. – *Reuleaux polygon* [9]) забезпечує плавний змінний градієнт швидкості розплаву матеріалу у кільцевому проміжку між наконечником шнека та вхідною ділянкою каналу формувальної головки. Це підвищує диспергуючо-змішувальну здатність шнека в цілому, а отже й поліпшує якість одержуваного екструдату. При цьому форма зазначеного кільцевого проміжку максимального наближається до кругової, але із одночасним забезпеченням певної зміни градієнту зсуву в ньому розплаву перероблюваного матеріалу, що унеможливорює механотермічну деструкцію розплаву, а отже й високу якість екструдату.

Суть удосконалення демонструє рисунок 1.

Шнек преса містить осердя з послідовно розташованими хвостовиком 1, спорядженою гвинтовою нарізкою 2 робочою ділянкою 3, а також знімним наконечником 4 змінного поперечного перерізу з вершиною 5 на поздовжній осі 6 осердя, при цьому наконечник виконано з поперечним перерізом у вигляді правильного многокутника Рело, кількість кутів якого при

цьому переважно має бути не менше чотирьох для максимального наближення форми поперечного перерізу наконечника 4 до кругової, але із одночасним забезпеченням певної зміни градієнту зсуву розплаву перероблюваного матеріалу ззовні наконечника 4.

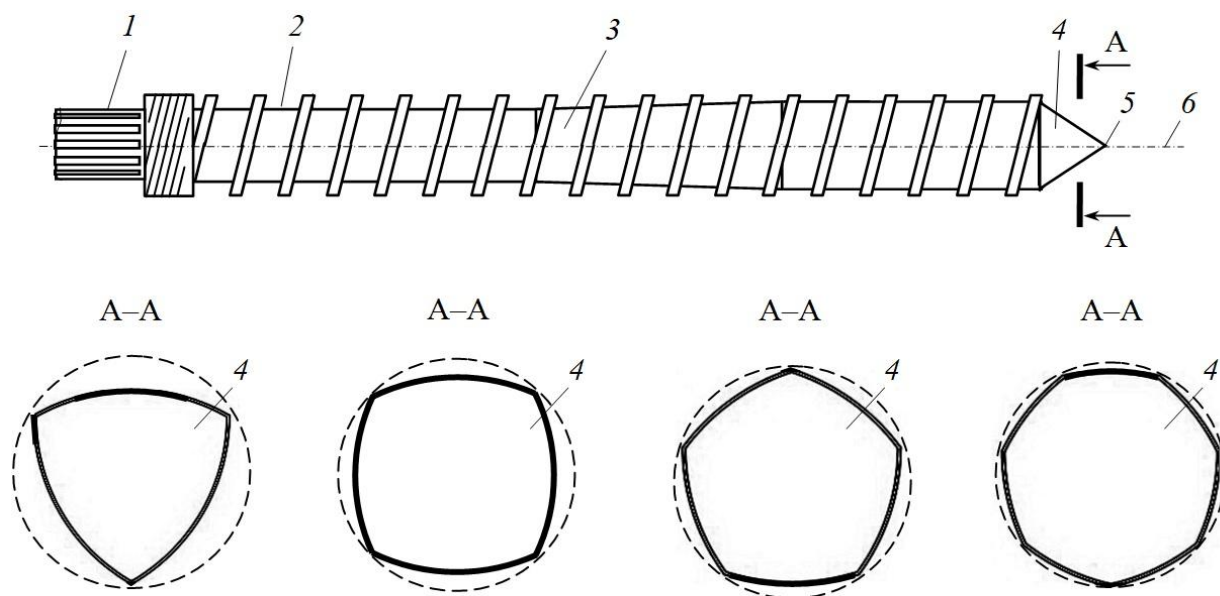


Рисунок 1 – Черв'як шнека одношнекового преса (заявка № у 2026 01854)

Висновок. Пропоноване технічне рішення є простим у виготовленні та експлуатації. Воно поліпшує умови підготовки розплаву матеріалу безпосередньо перед його формуванням, що поліпшує якість одержуваного на пресі екструдату.

Перелік посилань

1. Tadmor Z., Gogos C. G. Principles of polymer processing. 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. 961 p. URL: <http://www3.fi.mdp.edu.ar/procesamiento1/material/Tadmor-Gogos.pdf>
2. Мікульонюк І. О., Радченко Л. Б. Переробка вторинної сировини екструзією. Київ : НТУУ «КПІ», 2006. 184 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38062>
3. Mikulionok I. O. Screw extruder mixing and dispersing units // Chemical and Petroleum Engineering. 2013. Vol. 49, № 1–2. P. 103–109. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-013-9711-y>
4. Rauwendaal C. Polymer extrusion. 5th ed. Munich : Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2014. 950 p. URL: <https://doi.org/10.3139/9781569905395>
5. Vlachopoulos J., Polychronopoulos N. D. Understanding Rheology and Technology of Polymer Extrusion. Dundas : Polydynamics Inc, 2019. 337 p. URL: http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/Rheo_Tech_Book_Part_A.pdf
6. Мікульонюк І. О. Інноваційні змішувачі хімічної технології. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 132 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49568>
7. Мікульонюк І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 296 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/68766>
8. Мікульонюк І. О. Технологія перероблення полімерів. 5-те вид., перероб. та допов. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 314 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74268>
9. Reuleaux polygon. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Reuleaux_polygon (Дата звернення: 29.03.2026).

Модифікована конструкція екструдерного шнека для підвищення ефективності процесу екструзії

Лабуренко Д.О., студ., Шермазян А.О., студ., Олексишен В.О., PhD, ас.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Розглянуто особливості конструкції модифікованого екструдерного шнека, запропонованого у патенті. Досліджено вплив внутрішніх каналів шнека на процес транспортування та перемішування полімерного матеріалу.

Ключові слова: черв'ячний екструдер, черв'як, полімерні матеріали, модернізація, енергоефективність, зворотний потік.

Вступ. Сучасні підходи до переробки полімерних матеріалів вимагають безперервного вдосконалення обладнання з метою забезпечення високої якості готової продукції та мінімізації енергетичних витрат. У контексті екструзійних систем, шнек виступає як ключовий компонент, що здійснює функції транспортування, термічної обробки та гомогенізації сировини [1].

У патенті US11813785 [2] представлено модифіковану конструкцію шнека екструдера, розроблену з метою оптимізації процесів переміщення та переробки матеріалу в робочій камері.

Ключові завдання цієї модифікації полягають у підвищенні загальної ефективності екструзії, оптимізації гомогенізації матеріалу та досягненні рівномірного розподілу температури під час плавлення сировини. Додатковою метою є скорочення питомого енергоспоживання та підтримання стабільнішого температурного профілю в процесі функціонування екструдера. Принципова відмінність від традиційних моделей, де матеріал рухається виключно вздовж гвинтових каналів шнека, полягає у створенні додаткового внутрішнього контуру для циркуляції полімеру в запропонованій конструкції.

Як показано на рис. 1, запропонована конструкція включає транспортну секцію, бар'єрну ділянку та внутрішній канал. Через спеціально передбачений вхідний отвір певна частка сировини направляється у внутрішній канал шнека, переміщуючись у зворотному напрямку відносно основного потоку матеріалу. Такий підхід сприяє утворенню додаткового внутрішнього тиску та підсилення гомогенізації матеріалу. По завершенні проходження цього каналу полімер знову інтегрується в основний потік через відповідний вихідний отвір. На рис. 2 зображено напрямок потоку при такій модифікації.

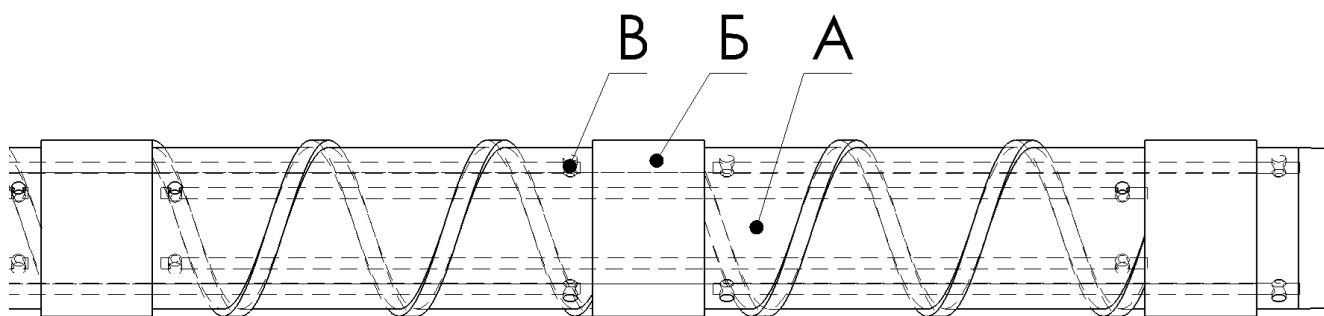


Рисунок 1 – Опис частин конструкції: А – транспортна частина; Б – бар'єрна зона; В – внутрішні

Ця модифікована конструкція потенційно демонструє особливу ефективність при переробці рецикльованої сировини та багатокомпонентних полімерних композицій, де традиційні конструкції шнеків не завжди забезпечують необхідний ступінь гомогенізації. Таким чином, запропонована модель характеризується підвищеною ефективністю функціонування, забезпечує стабільніший процес екструзії та сприяє покращенню якісних характеристик кінцевої продукції.

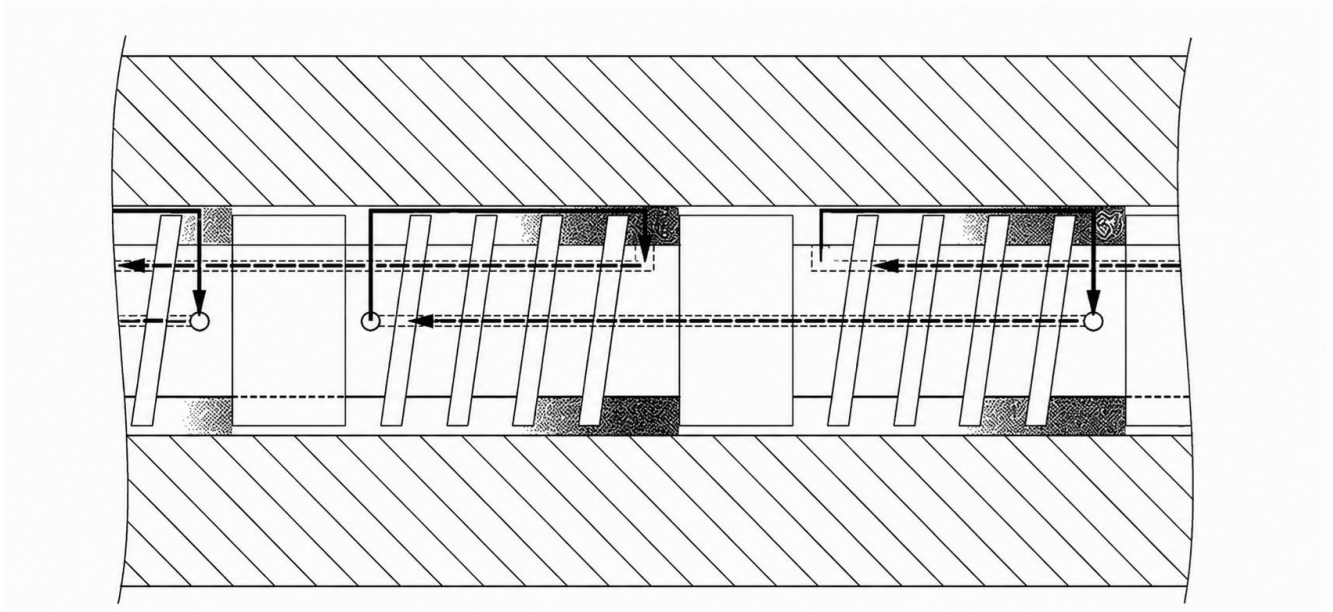


Рисунок 2 – Схематичне зображення потоку в модифікації

Крім того, слід підкреслити, що впровадження подібної конструкції шнека має потенціал позитивно впливати не лише на якість кінцевої продукції, але й на загальну операційну надійність обладнання. Оскільки досягається більш рівномірний розподіл температури та мінімізуються локальні перевантаження, це призводить до зниження інтенсивності зношування компонентів екструдера, тим самим збільшуючи термін його експлуатації. Поряд із цим, покращена гомогенізація сприяє формуванню матеріалу з більш стабільними фізико-механічними властивостями, що має критичне значення для виготовлення продукції із чітко визначеними експлуатаційними характеристиками.

Висновки. Порівняльний аналіз зі стандартними моделями вказує на підвищену ефективність функціонування та покращені якісні показники кінцевої продукції цієї системи, що підкреслює її актуальність для сучасної полімерної промисловості. Отже, запропонована у патенті конструкція екструдерного шнека є перспективним напрямом у розвитку екструзійного обладнання.

Перелік посилань

1. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів: навч. посіб. / І. О. Мікульонк, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 200 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25367>
2. US11813785 Extruder screw having paths within the screw, extruder, and extrusion method : US Patent 11,813,785 B2 / Akiyoshi Kobayashi, Shigeyuki Fujii, Takafumi Sameshima ; Shibaura Machine Co., Ltd. Published Nov. 14, 2023.

Вдосконалення завантажувального бункера екструдера

Хорошун Ю.В., студ., Сокольський О.Л., д.т.н., доц., Скомороха Н.В., студ.

Національний технічний університет України

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

У роботі проаналізовано недоліки існуючих систем подачі матеріалу до черв'яка екструдера та запропоновано конструктивне рішення на основі інтеграції циклонного сепаратора з набивним шнеком у завантажувальний бункер. Реалізація такого підходу забезпечує стабільне повернення подрібнених технологічних відходів у виробничий цикл без порушення рівномірності подачі гранулята.

Ключові слова: завантажувальний пристрій; циклон; набивний шнек; полімерні відходи; екструзія

Вступ. Завантажувальний бункер є одним із ключових вузлів екструдера, що визначає стабільність і продуктивність усього технологічного процесу [1]. Особливої актуальності питання надійної подачі матеріалу набуває у виробництвах, де поряд зі свіжим гранулятом необхідно переробляти подрібнені відходи – крайні обрізки плівок, стрічок та інших полімерних напівфабрикатів. Через низьку насипну густину та схильність до злипання такі матеріали утворюють зводи на виході сепаратора, що призводить до нестабільної роботи подавального шнека і погіршення якості екструдату [2]. Існуючі конструкції не вирішують цієї проблеми в повній мірі, тому пошук ефективного технічного рішення залишається актуальним завданням.

Аналіз патентного рішення та конструкція удосконаленого пристрою. За результатами патентного пошуку для вдосконалення живильника вторинної полімерної сировини обрано рішення [3], що принципово відрізняється від традиційних схем компоновкою основних елементів. Ключовою особливістю є співвісне розміщення циклонного сепаратора безпосередньо всередині конічного бункера для гранулята, що дозволяє суміщати функції сепарації та змішування в єдиному компактному вузлі. Набивний шнек встановлено вертикально по осі циклона таким чином, що він одночасно запобігає зводуутворенню і примусово подає відходи в змішувальну зону (рис. 1).

Принцип роботи та переваги конструкції. Подрібнені відходи надходять до циклона пневматично через тангенціальний патрубок. Під дією відцентрових сил частинки відокремлюються від повітряного потоку та осідають у нижній циліндричній частині циклона, звідки набивний шнек примусово переміщує їх крізь вихідний отвір. У лійкоподібній змішувальній секції відходи з'єднуються зі свіжим гранулятом, що надходить з бункера по кільцевому зазору навколо циклона. Готова суміш безпосередньо подається до черв'яка екструдера.

Конструкція має такі переваги.

Надійне запобігання зводуутворенню – примусове транспортування шнеком унеможливорює зависання матеріалу незалежно від його фізичних властивостей та умов навколишнього середовища.

Керований склад суміші – роздільна подача компонентів із наступним їх змішуванням у визначеній зоні дозволяє точно витримувати задане співвідношення відходів і гранулята.

Скорочення транспортних шляхів – коаксіальна компоновка усуває необхідність у виносних змішувачах і вертикальних транспортерах, що зменшує ймовірність сегрегації матеріалу.

Підвищення ступеня заповнення черв'яка – рівномірна примусова подача суміші безпосередньо до екструдера стабілізує продуктивність і знижує коливання тиску в зоні плавлення.

Спрощення обслуговування – передбачений оглядовий лючок у змішувальній секції забезпечує швидкий доступ для усунення можливих засмічень без зупинки виробництва.

На основі патентної пропозиції було розроблено конструктивне рішення у 3D.

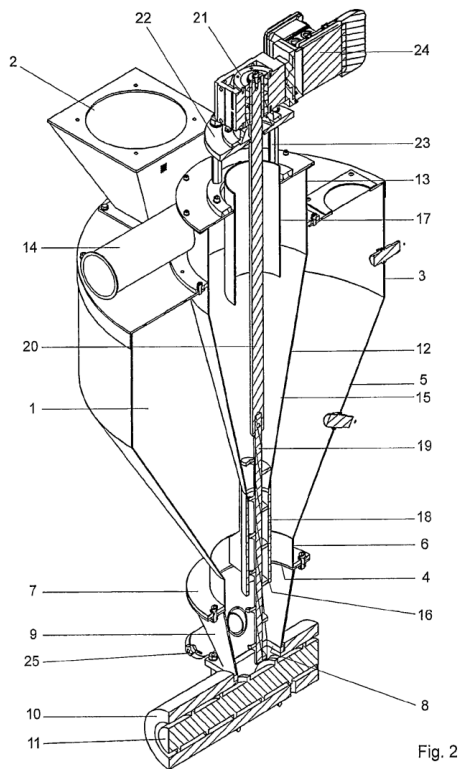
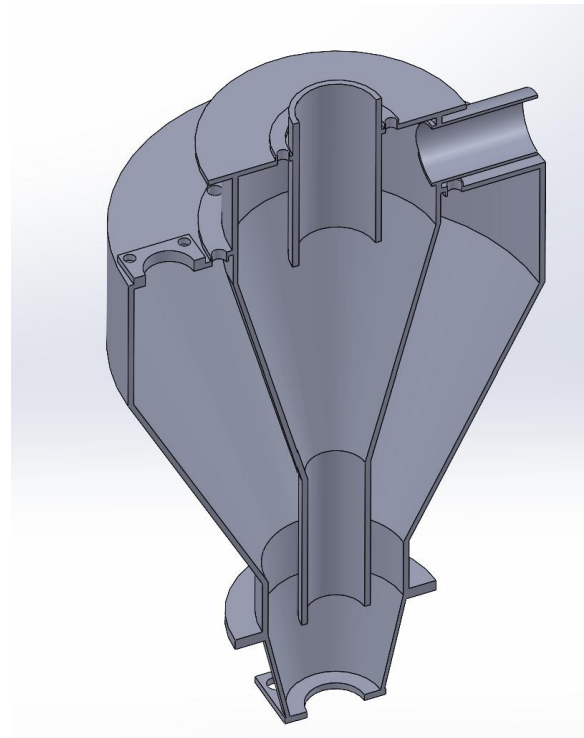


Fig. 2



a

б

Рисунок 1 – Вдосконалений завантажувальний пристрій:
а – схема конструкції [3]; б – 3D модель розробленої конструкції

Висновок. Розглянуте патентне рішення дозволяє комплексно вирішити проблему надійного введення подрібнених полімерних відходів у процес екструзії. На відміну від традиційних схем, де циклон і бункер є окремими агрегатами, запропонована інтегрована конструкція забезпечує компактність, стабільність подачі та можливість точного регулювання складу переробної суміші. Впровадження такого пристрою є перспективним насамперед для підприємств, що виробляють полімерні плівки та тканини з одночасною переробкою крайових обрізків.

Перелік посилань

1. Мікульонюк І.О. Технологія перероблення полімерів : підруч. 5-те вид., переробл. та доповн. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 314 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74268>
2. Екструзійне обладнання : навч. посіб. / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. І. Сівецький, О. Л. Сокольський, Д. Г. Швачко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 144 с. URI: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/73944>
3. Device for feeding granulate and filler material to an extruder screw of an extruder : US 9,227,344 B2, B29B 7/60 / Schmalholz, Peter. – Jan. 5, 2016.

Покращення процесу утилізації полімерів методом екструзії шляхом модернізації конструкції черв'яка

Костюченко Д.О., студ., Мальчевський О.Т., асп., Сокольський О.Л., д.т.н., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

В даній публікації розглянуто два варіанти модернізації конструкції робочої зони черв'ячного екструдера з метою покращення диспергувально-змішувального ефекту екструдера при переробці та утилізації виробів та матеріалів на полімерній основі.

Ключові слова: черв'ячний екструдер, модернізація, черв'як, полімери, переробка, утилізація, змішувальні елементи.

Вступ. Метод екструзії є найбільш розповсюдженим методом переробки та утилізації виробів та матеріалів на полімерній основі, оскільки він вирізняється високим рівнем продуктивності та широкою універсальністю. Агрегат, який є головним представником методу екструзії, є черв'ячний екструдер (шнековий прес) [1,2]. Недоліком базової конструкції черв'ячного екструдера є те, що зона змішування із сталим поперечним перерізом не забезпечує інтенсивного змінного градієнта швидкості текучого полімерного матеріалу або твердих полімерних відходів у робочому каналі екструдера, а отже й не забезпечує інтенсивного змішувального ефекту.

Запропонований варіант модернізації [3] пропонує нове виконання форми змішувальної ділянки черв'ячного екструдера для переробки полімерних матеріалів і характеризується наявністю на черв'яку змішувального елемента, розташованого наприкінці робочої зони черв'ячного екструдера.

Зона змішування черв'ячного екструдера (Рис.1), представляє собою порожнистий корпус 1 із вихідним отвором 5, черв'як 2, який оснащений гвинтовою навивкою 3 та отвором для подачі охолоджувальної рідини 6, відрізняється тим, що наприкінці зони змішування черв'як 2 оснащений змішувальним елементом 4, який виконаний у вигляді п-кутників, зміщений у коловому напрямку одне відносно одного, при цьому бічну поверхню змішувальної ділянки утворено сукупністю рівнобедрених трикутників, основи яких збігаються з ребрами основ змішувальної ділянки. При цьому корпус 1, в зоні розташування змішувального елемента 4, має конічне розширення.

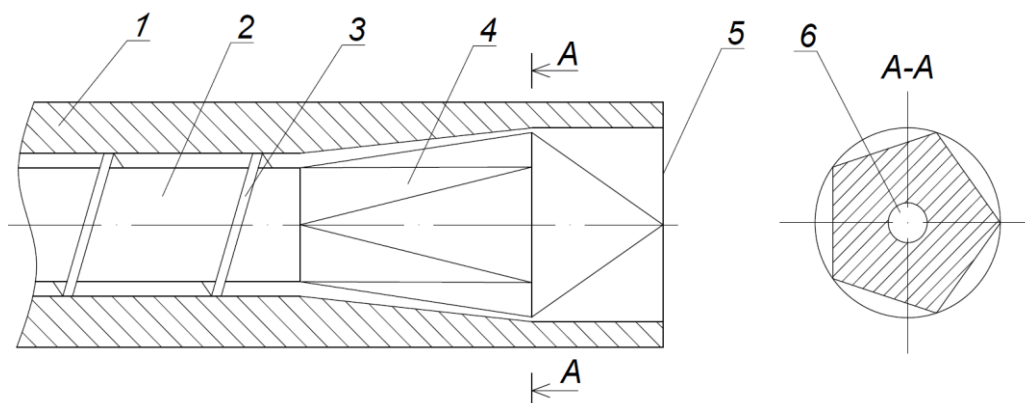


Рисунок 1 – Зона змішування черв'ячного екструдера оснащена змішувальним елементом у вигляді п'ятикутної призми: 1 – корпус; 2 – черв'як; 3 – гвинтова навивка; 4 – змішувальний елемент; 5 – вихідний отвір; 6 – отвір для подачі охолоджувальної рідини

Ще один варіант модернізації [4] теж стосується зони змішування черв'ячного екструдера. Основна суть даної модернізації за своєю природою схожа на попередню, але стосується

виключно геометрії черв'яка і характеризується наявністю змішувальних елементів у формі заокруглених трикутників.

Зона змішування черв'ячного екструдера (Рис.2) складається з корпусу 1, в середині якого знаходиться черв'як 2, який містить зону активного змішування, що утворюється ланцюжком змішувальних елементів 3, які виконані у формі рівносторонніх трикутників із заокругленими кутами. Кожен наступний змішувальний елемент 3 розташований з поворотом в 180° відносно попереднього. Зв'язка змішувальних елементів розташована приблизно посередині змішувальної зони черв'ячного екструдера.

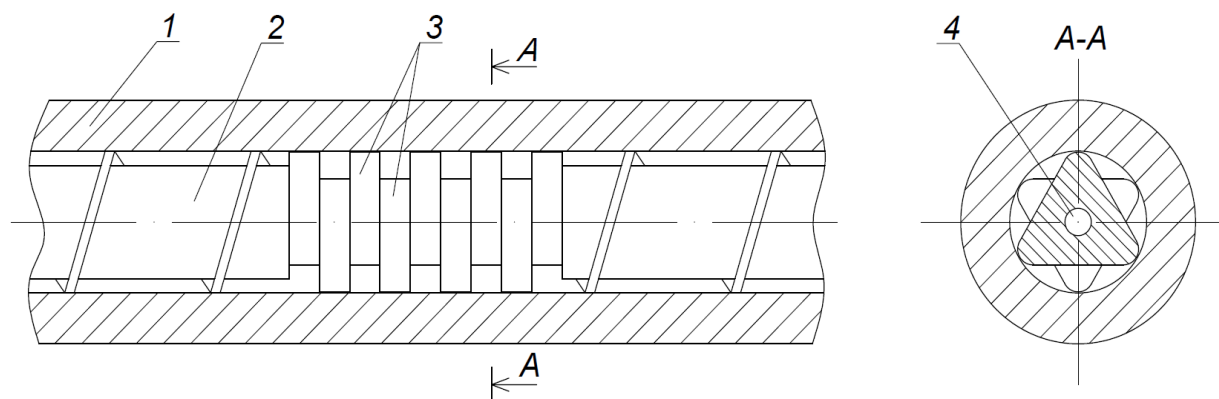


Рисунок 2 – Зона змішування черв'ячного екструдера оснащена змішувальним елементом у вигляді заокруглених трикутників: 1 – корпус; 2 – черв'як; 3 – змішувальні елементи; 4 – отвір для подачі охолоджувальної рідини

Висновок. Виконання черв'ячного екструдера із будь-яким із зазначених варіантів модернізації забезпечить більшу інтенсивність перемішування перероблюваного матеріалу в робочому каналі екструдера, що призведе до істотного підвищення диспергувально-змішувального ефекту екструдера в цілому, а отже, позитивно вплине на якість кінцевої полімерної продукції.

Перелік посилань

1. 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> (дата звернення: 13.05.2026).
2. Мікульонюк І. О. Інноваційні змішувачі хімічної технології. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 132 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49568> (дата звернення: 13.05.2026)
3. Шнековий прес для перероблення полімерних матеріалів : пат. u202501003 Україна / Мікульонюк І.О.; заявл. 06.03.2025; опубл. 10.09.2025.
4. Extruder screw : pat. DE102004042746A1 Germany / D. Peter; заявл. 23.03.2006; опубл. 27.03.2008.

Модернізація футеровки барабанного кульового млина

Білецький К.М., студ., Сокольський О.Л., д.т.н., доц., Коцюба Н.М., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

У роботі розглянута можливість удосконалення футеровки барабанного кульового млина шляхом використання складеної конструкції з опорною пластиною, пружним основним тілом та зносостійкою вставкою-ліфтером. Запропонована конструкція дозволяє зменшити вплив ударних навантажень на корпус барабана, підвищити довговічність футеровочного вузла та спростити заміну найбільш зношуваного елемента.

Ключові слова: кульовий млин, футеровка, футеровочний вузол, ліфтер, модернізація.

Вступ. Кульові млини широко застосовуються у виробництві будівельних матеріалів, цементній, гірничо-збагачувальній та інших галузях промисловості для подрібнення твердих матеріалів до заданої крупності [1]. Робота такого обладнання ґрунтується на обертанні барабана з мелючими тілами, які подрібнюють матеріал за рахунок ударної, стиральної та роздавлювальної дії.

Одним із найбільш навантажених елементів барабанного млина є футеровка [2]. Вона захищає корпус від зношування, сприймає дію мелючих тіл і впливає на характер їх руху всередині барабана. У процесі експлуатації футеровка працює в умовах інтенсивного ударного та абразивного зношування, тому її довговічність безпосередньо впливає на надійність роботи млина і періодичність ремонтів.

Звичайна суцільна футеровочна плита переважно виконує захисну функцію, однак у складних умовах роботи вона поступово зношується і передає частину ударної дії на корпус барабана. Тому доцільним напрямом модернізації є використання складеної футеровки, у якій окремі елементи виконують опорну, демпфувальну та робочу функції.

Конструкція модернізованої футеровки. На основі аналізу патентних рішень для модернізації було обрано конструкцію футеровочного елемента за патентом US8235318B2 (рис. 1) [3]. Це рішення передбачає використання складеної футеровки, яка складається з кількох функціональних частин: опорної пластини, основного тіла та зносостійкої вставки-ліфтера.

Опорна пластина розміщується з боку корпусу барабана та є основою для встановлення футеровочного елемента. Основне тіло футеровки розташоване між опорною пластиною та робочою частиною. Зносостійка вставка-ліфтер утворює виступаючу ділянку робочої поверхні, яка контактує з матеріалом і мелючими тілами під час роботи млина.

За обраним патентним рішенням було розроблено 3D-модель модернізованого футеровочного вузла [4]. Модель включає сектор корпусу барабана, опорну пластину, основне тіло футеровки, окрему вставку-ліфтер, а також елементи болтового з'єднання. У конструкції збережено загальну ідею складеної футеровки, де окремі елементи виконують опорну, проміжну та робочу функції (рис. 2).

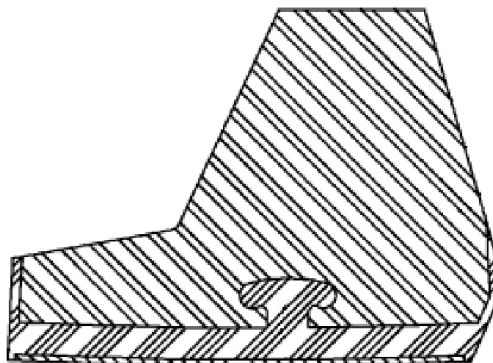


Рисунок 1 – Конструкція футеровочного елемента за патентом US8235318B2

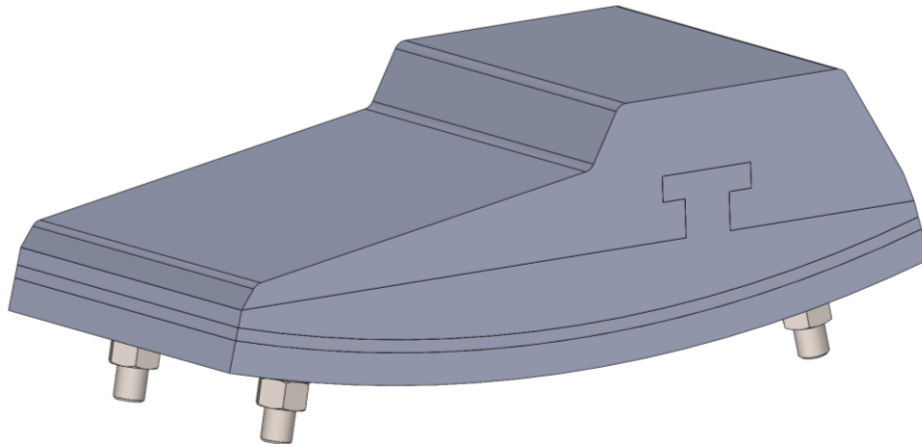


Рисунок 2 – 3D-модель модернізованого футеровочного вузла

Опис розробленої конструкції. Розроблена 3D-модель адаптує патентне рішення до умов встановлення футеровки на секторі барабана кульового млина. У конструкції збережено складену будову елемента, а вставка-ліфтер винесена в робочу зону, де відбувається безпосередня взаємодія з матеріалом і мелючими тілами. Такий підхід дозволяє розглядати ліфтер як окремий найбільш навантажений елемент футеровки.

Загальними перевагами запропонованої конструкції є:

- Розділення функцій між окремими елементами футеровки, що дозволяє окремо виділити опорну, демпфувальну та робочу частини.
- Зменшення передачі ударної дії на корпус барабана за рахунок використання пружного основного тіла.
- Підвищення зносостійкості робочої поверхні завдяки застосуванню окремої вставки-ліфтера.
- Спрощення обслуговування футеровочного вузла, оскільки найбільш навантажений елемент може бути замінений окремо.
- Збереження працездатності конструкції при заданому розрахунковому навантаженні.

Висновок. Запропонована конструкція модернізованої футеровки є доцільним варіантом удосконалення барабанного кульового млина. Використання складеної футеровки з опорною пластиною, пружним основним тілом і зносостійкою вставкою-ліфтером дає змогу розділити функції між окремими елементами вузла. Така конструкція спрямована на зменшення передачі ударної дії на корпус барабана, підвищення зносостійкості робочої поверхні та спрощення заміни найбільш навантаженого елемента. Отже, модернізована футеровка може бути використана для підвищення довговічності та ремонтпридатності кульового млина.

Перелік посилань

1. Мікульонюк І.О. Механічні процеси та обладнання виробництва полімерних і будівельних матеріалів і виробів : підруч. 5-те вид., переробл. та доповн. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 102 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74513>
2. Деталі і вузли кульових млинів. Studfile. URL:<https://studfile.net/preview/9170823/page:3/>
3. Patent US8235318B2. Liner for grinding mills. URL:<https://patentimages.storage.googleapis.com/4b/44/47/6e3ad62f0ab00b/US8235318.pdf>
4. Planchard D. C. Engineering Design with SOLIDWORKS 2023: A Step-by-Step Project Based Approach Utilizing 3D Solid Modeling. – SDC Publications, 2023. URL:<https://static.sdcpublications.com/pdfsamples/978-1-63057-550-2-4-mbg811eo6r.pdf>

Комбінована система терморегулювання валків валкових машин для переробки полімерних матеріалів

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

Розглянуто особливості конструкції модернізованого валка валкових машин, запропонованого у патенті UA38902U. Досліджено принципи комбінованого канално-індукційного нагріву та механізм регулювання рівномірності температурного поля за допомогою переміщення феромагнітних втулок.

Ключові слова: валкова машина, каландр, валок, індукційний нагрів, феромагнітні втулки, температурне поле.

Вступ. Сучасне промислове виробництво листових та плівкових матеріалів з полімерів, еластомерів та гумових виробів вимагає безперервного підвищення точності геометричних параметрів продукції та оптимізації енергетичних витрат. У контексті каландрування та вальцювання, валок виступає головним робочим органом, який безпосередньо впливає на формування матеріалу та його термічну гомогенізацію [1].

Традиційні конструкції валків із виключно рідинним (масляним) нагрівом обмежені температурним діапазоном (до 200–250 °С) через ризик деградації теплоносія та стрімке зростання тиску в системі. Окрім цього, суттєвою проблемою залишаються крайові теплові втрати через торці бочки та підшипникові вузли, що призводить до різнотовщинності полотна. У патенті [2] представлено комбіновану конструкцію валка, розроблену з метою розширення температурного діапазону переробки та забезпечення прецизійної рівномірності температурного поля робочої поверхні. Ключовим завданням цієї модифікації є інтеграція дворівневої системи нагріву (конвективної та електромагнітної) в єдиний конструктивний вузол.

Методика та аналіз конструкції. Запропоноване технічне рішення базується на розподілі теплових режимів залежно від технологічних потреб. Конструкція містить порожнисту бочку, цапфи з центральним каналом та систему периферійних каналів, з'єднаних похилими отворами. Для реалізації низько- та середньотемпературних процесів (до 250 °С) використовується рідкий теплоносіє, який циркулює за контуром: центральний канал – похилі каналці – периферійні підповерхневі канали. Це забезпечує стабільний базовий нагрів бочки валка. Для переробки тугоплавких та високотехнологічних полімерів (при температурах понад 250 °С) подачу масла припиняють і активують високочастотні стрижневі індуктори, розміщені всередині центральної порожнини. Магнітне поле індукторів збуджує вихрові струми у спеціальних феромагнітних втулках, встановлених на внутрішній стінці валка за допомогою нарізного з'єднання (різі). Головною перевагою модернізації є можливість гнучкого локального регулювання тепловиділення. Змінюючи товщину стінок втулок або крок їхнього осевого розміщення (шляхом вкручування по різі), стає можливим штучно перерозподілити густину теплового потоку. Зокрема, у приторцевих зонах валка, де теплові втрати є максимальними, втулки розташовують із мінімальним кроком. Це дозволяє повністю нівелювати «крайовий ефект» і досягти безпрецедентної рівномірності температурного профілю вздовж усієї робочої зони довжиною понад 3,5 метри. Запропонована комбінована схема дозволяє суттєво підвищити якість калібрування плівок, знизити брак через температурну нестабільність та зменшити теплову інерційність робочого органу під час виходу на робочі режими.

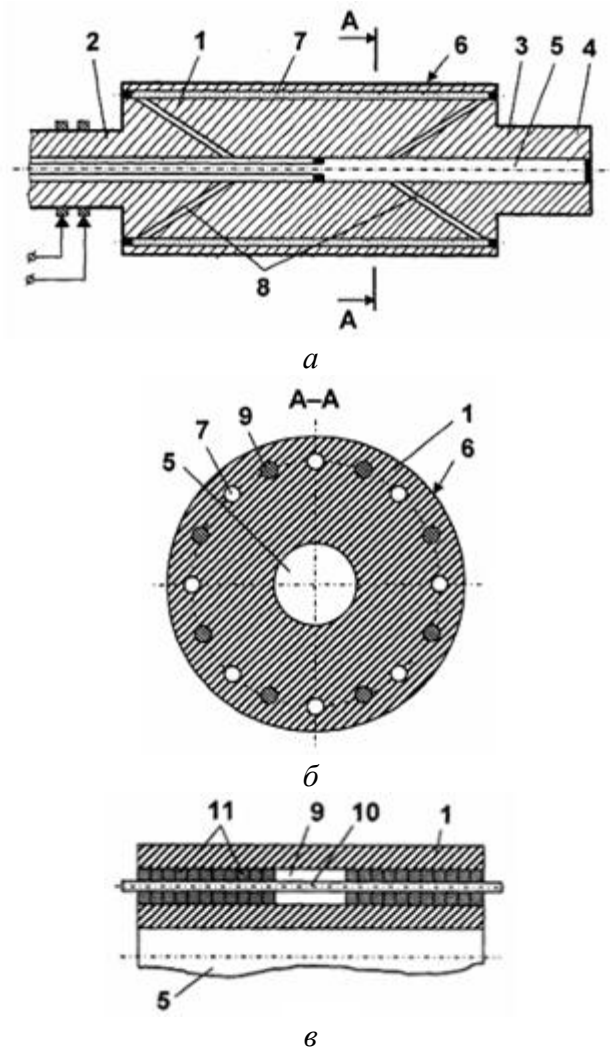


Рисунок 1 – Конструктивна схема модернізації валка: *а* – повздовжній переріз конструкції, *б* – поперечний переріз конструкції, *в* – фрагмент системи терморегуляції валка, 1 – бочка валка, 2 і 3 – цапфи, 4 – хвостовик, 5 – центральний канал, 6 – робоча поверхня бочки валка, 7 – периферійні канали, 8 – похилі канали, 9 – повздовжні отвори з нагрівачами, 10 – стрижневий індуктор, 11 – феромагнітні втулки

Висновки. Порівняльний аналіз із класичними рідинними та суто індукційними валками вказує на вищу універсальність та енергоефективність розробленої системи. Комбінування каналного потоку теплоносія та регульованих феромагнітних елементів дозволяє переробляти ширшу номенклатуру жорстких та композиційних полімерів. Таким чином, запропонована у патенті UA38902U конструкція валка є перспективним рішенням для модернізації сучасного каландрового обладнання.

Перелік посилань

1. Валкові машини: навч. посіб. / В.І. Сівецький. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського 2020 с.49 URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/62811>
2. Пат. 38902 U Україна, МПК В29В 7/30, В29С 43/44. Валок валкових машин / Ю. Ю. Лукач, П. М. Магазій, Ю. В. Мельник, І. О. Мікульонок, М. М. Чухрієнко; заявник і патентовласник НТУУ "КПІ". – № u200810056; заявл. 04.08.2008; опубл. 26.01.2009, Бюл. № 2.

Вдосконалення конструкції екструдера для переробки термопластів

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

З метою зменшення вібрацій в процесі екструзії запропоновано використання спеціальної геометрії шнеку.

Ключові слова: екструдер, змішування, пази, вібрація, шнек.

Вступ. У сучасній промисловості для переробки полімерних матеріалів широко використовуються черв'ячні екструдери. Відомі конструкції пресів часто мають зону змішування [1], наприклад з поздовжніми пазами змінної глибини, розташованими паралельно осі шнека [2]. Під час обертання шнека у такому екструдері відбувається «набігання» пазів один на одного, що спричиняє вібрацію та знижує надійність машини.

Для усунення цього явища пропонується модернізація [3], де змінено взаємне розташування елементів змішувальної секції.

Основна частина. Запропонований екструдер прес складається з порожнистого корпусу 1 із завантажувальним 2 та розвантажувальним 3 отворами. В середині корпусу встановлено черв'як 4, який має спеціальну змішувальну ділянку 5.

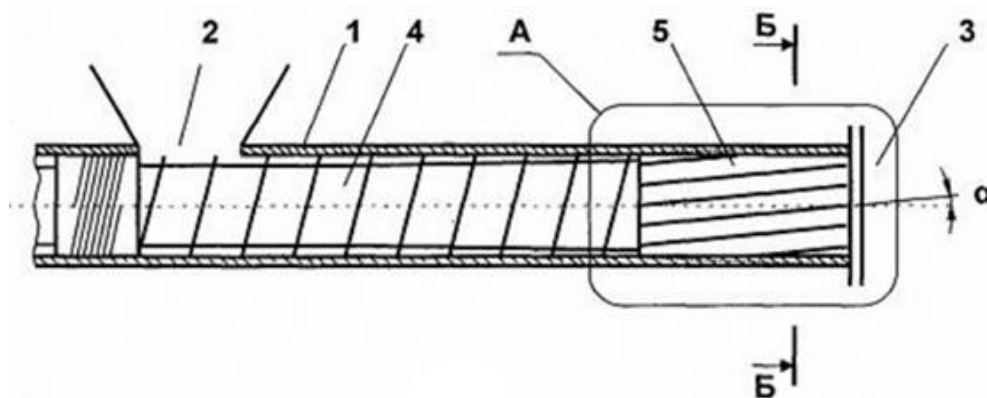


Рисунок 1 – Поздовжній розріз екструдера

На змішувальній ділянці та на внутрішній стінці корпусу виконані поздовжні пази змінної глибини по їх довжині. Глибина пазів на шнеку та корпусі змінюється в оберненому порядку. Поздовжні пази розташовані під певним кутом один до одного. Таке просторове рішення забезпечує постійний, рівномірний контакт між зонами зсуву, що виключає виникнення динамічних ударів та вібрації.

Висновки. Таким чином вдається підвищити гомогенність розплаву і усунути вібрації.

Перелік посилань

1. Aguiar, M., & Aguiar, P. (Eds.) Advanced Polymer Extrusion: Materials and Processes. Elsevier, 2022. 450 p.
2. 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>
3. Single-worm press for processing of thermoplastics: пат. 20457 [UA]: МПК B29B7/40, B29C47/38/ Lukach Yurii Yukhymovych [UA]; патентовласник "Kyiv Polytechnical Institute" National Technical University of Ukraine – Заявл. 14.08.2006; Опубл. 15.01.2007. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/302942>

Вальці для підготовки гумової суміші з модернізацією валків

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

Запропонована розробка модернізованих валків для переробки гумової суміші. Модернізація направлена на поліпшення перемішування, рівномірність розподілу температури та якість суміші.

Ключові слова: вальці, гумова суміш, модернізація валків.

Вступ. На сьогоднішній день підвищення ефективності роботи підготовчих цехів гумової промисловості безпосередньо пов'язане з модернізацією основного технологічного обладнання. Ключовим етапом у виробництві еластомірних композицій є якісне змішування компонентів, яке традиційно реалізується на вальцях. Проте стандартні конструкції робочих органів не завжди забезпечують необхідний рівень гомогенізації матеріалу та мають високу енергомісткість [1].

У зв'язку з цим, аналіз та розрахунок нових конструктивних рішень для валків змішувальних машин є актуальним науково-технічним завданням, що дозволить оптимізувати параметри переробки гумових сумішей та покращити якість готової продукції [2].

Одним із напрямів підвищення технологічної та експлуатаційної ефективності є використання хвилястого (синусоїдального) профілю у складі робочої поверхні валків [3].

Такий підхід дозволяє зменшити навантаження на вузли тертя, зменшити втрати на подолання опору руху матеріалу, усунути прослизання гумової маси та підвищити якість змішування і дегазації.

Основна частина. Конструкція модернізованих вальців (рис. 1) базується на використанні робочих валків із профільованою (хвилястою) поверхнею, що забезпечує інтенсивне перемішування та гомогенізацію гумової суміші. Завдяки хвилястій формі валків створюються змінні контактні зони з матеріалом, які постійно переміщуються, що зменшує локальне перегрівання суміші, підвищує якість змішування і знижує зношення робочих поверхонь.

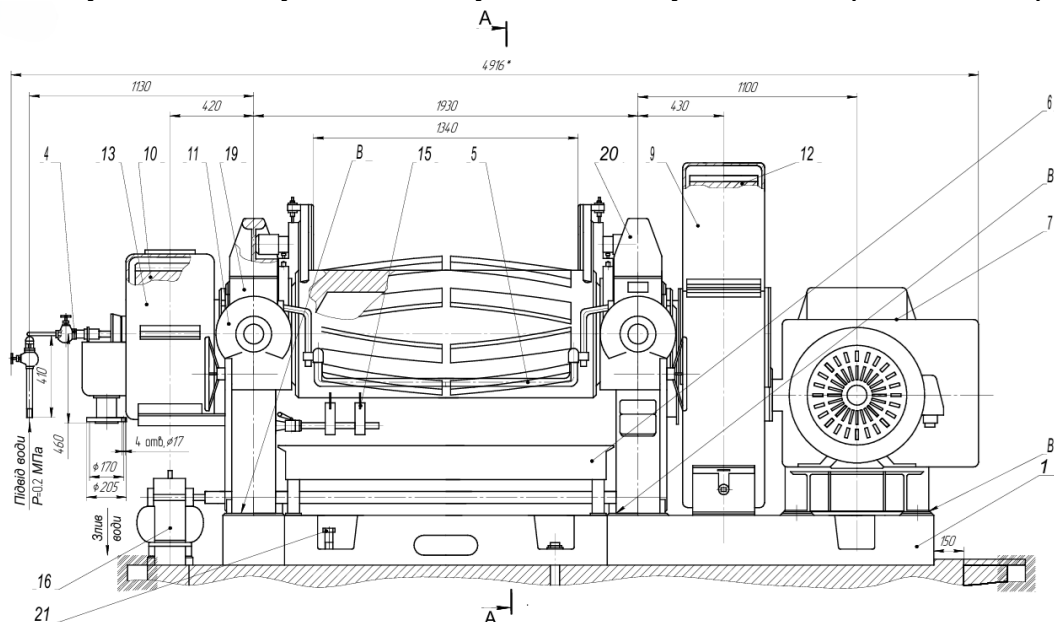


Рисунок 1 – Загальний вигляд модернізованих вальців: 1 – станина; 4 – клапан; 5 – траверса; 6 – штанга аварійних вимикачів; 7 – вузол ножів; 9 – трубопровід; 11 – змащування підшипників; 12 – механізм контролювання зазору; 13 – редуктор приводу вальців; 15 – фрикційна шестерня; 16 – зливний клапан; 19 – вузол зливу води; 20 – кінцевий вимикач; 21 – болти регулювання

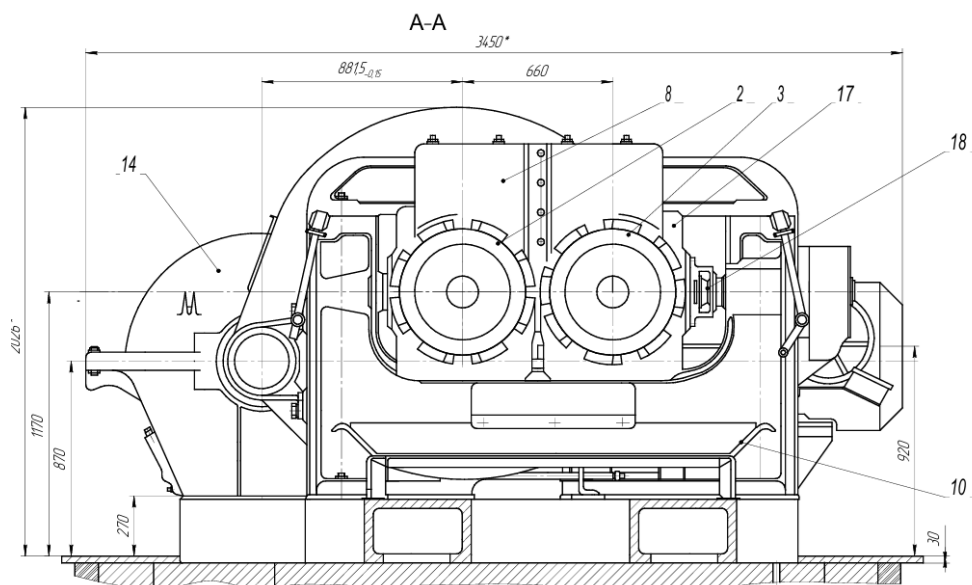


Рисунок 2 – Профільний розріз модернізованих вальців: 2 – робочі валки; 3 – підшипниковий вузол; 8 – кран охолодження; 10 – трубопровід системи охолодження; 14 – електродвигун приводу вальців; 17 – кришка корпусу; 18 – регулювальний гвинт

Завдяки модернізації робочої поверхні досягається максимальний захоплювальний та зсувний ефект. Маса матеріалу переміщується абсолютно рівномірно без необхідності тривалого очікування між етапами виробництва, що виключає потребу в додатковому рафінуванні суміші та суттєво підвищує загальну продуктивність лінії вальцювання [3].

Висновки. Запропонована модернізація робочих поверхонь вальців за принципами патенту CN103978575A є науково обґрунтованим та практично доцільним технічним рішенням, яке спрямоване на підвищення загальної продуктивності обладнання, оптимізацію енергетичних параметрів процесу та покращення якісних показників цільової гумової суміші. Важливою технологічною перевагою модернізації є можливість здійснення процесу без проміжного етапу листоутворення та вимушених зупинок лінії, що гарантує досягнення високої однорідності розподілу інгредієнтів суміші та безперервність виробничого циклу.

Перелік посилань

1. Сівецький В. І. Обладнання заводів гумової промисловості: Навчальний посібник / В. І. Сівецький, О. Л. Сокольський. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 212 с.
2. Григор'єв А. В. Елементи машинобудування та розрахунок деталей хімічного обладнання: Метод. вказівки / А. В. Григор'єв, В. О. Петренко. – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2014. – 96 с.
3. Interlocking overturn-roller rubber mixing roll: пат. CN103978575A КНР: МПК B29B 7/20 / Nanjing Kaichi Machinery Co Ltd. – № CN201410184389A; заявл. 05.05.2014; опубл. 13.08.2014.

Модернізація дебалансного вібратора віброшнекового живильника комбікормового виробництва

Пригода Р. С., студ., Петров Д.Г. студ., Швачко Д. Г., PhD, доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Розглянуто проблему регулювання збурювальної сили дебалансного вібратора віброшнекового живильника комбікормового виробництва. Запропоновано конструкцію вібратора з гідравлічно регульованим ексцентриситетом, що дозволяє в робочому режимі без зупинки агрегата змінювати збурювальну силу в діапазоні 36...100 %. Виконано числове моделювання напружено-деформованого стану в ANSYS Workbench 2024 R2 та підтверджено працездатність модернізованої конструкції в усіх робочих режимах.

Ключові слова: віброшнековий живильник, дебалансний вібратор, гідравлічне регулювання, ексцентриситет, ANSYS, комбікорм, дозування сипких матеріалів.

Віброшнековий живильник є однією з ключових машин у технологічних лініях виробництва комбікормів. Він забезпечує дозовану подачу компонентів комбікорму з бункерів-нагромаджувачів до вагового дозатора, а від точності його роботи безпосередньо залежить якість готової продукції – однорідність суміші, дотримання рецептури та харчова цінність [1-2]. Технологічна лінія виробництва комбікормів продуктивністю 5–10 т/год показана на рисунку 1.

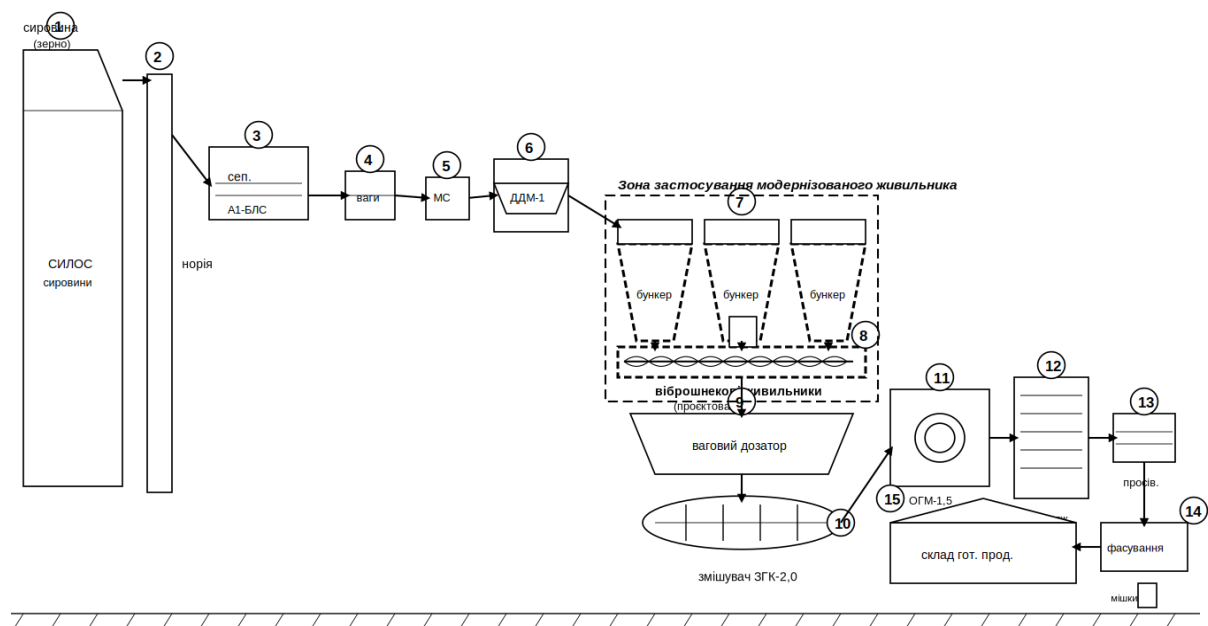


Рисунок 1 – Технологічна схема виробництва комбікормів

Серед недоліків базових конструкцій віброшнекових живильників – неможливість регулювання збурювальної сили дебалансного вібратора в робочому режимі. У типових конструкціях за патентом № 139147 U на рисунок 2 ексцентриситет дебалансу задається при складанні агрегата та може бути змінений лише шляхом повної зупинки машини, демонтажу бокових кришок та механічного переставлення сегментів дебалансу [3]. Це займає не менше 1,5–2 годин при необхідності 4–6 переналаштувань на добу при роботі з широкою номенклатурою рецептур комбікормів. Зазначене обмежує адаптивність живильника до компонентів комбікорму, які мають насипну густину в широкому діапазоні (від 400 до 700 кг/м³) і різну текучість.

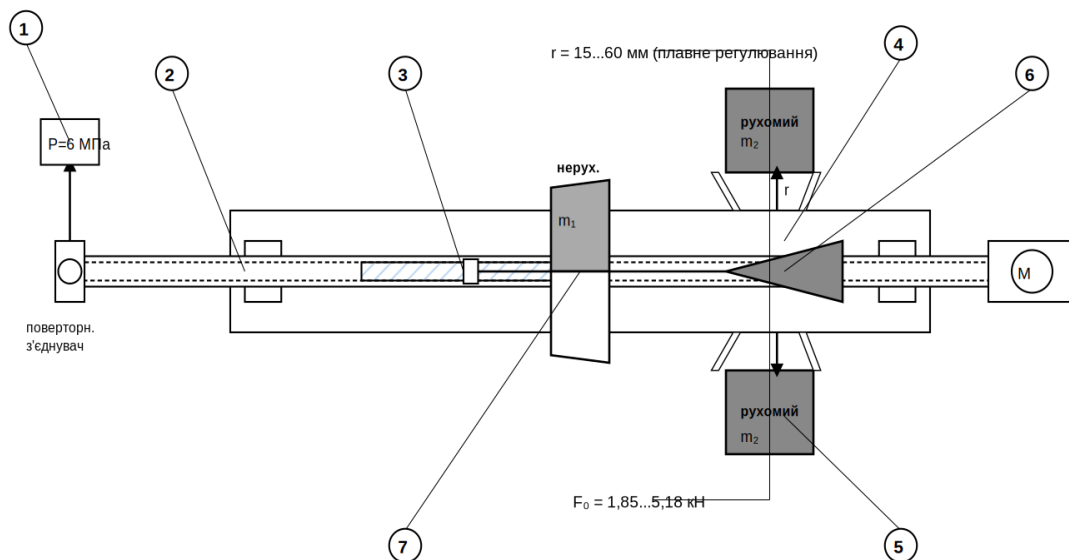


Рисунок 2 – Модернізований вузол дебалансного вібратора

Метою роботи є модернізація конструкції дебалансного вібратора віброшнекового живильника, що забезпечує плавне регулювання збурювальної сили у робочому режимі без зупинки агрегата.

Запропонована модернізація передбачає такі основні зміни конструкції базового вібратора:

- заміна суцільного вала на порожнистий для розміщення гідроциліндра двосторонньої дії;
- розділення основного дебалансного сегмента на нерухомий (приварений до вала) та два рухомих, які можуть переміщуватися радіально по напрямних типу «ластівчин хвіст»;
- додавання конічної штанги-розпору, яка при осьовому переміщенні розсуває або зводить рухомі сегменти;
- встановлення гідроциліндра Ø32/Ø18 мм всередині порожнистого вала з робочим тиском до 6 МПа;
- додавання поворотного гідравлічного з'єднувача для підведення робочої рідини до гідроциліндра, що обертається разом з валом.

Конструктивна схема модернізованого вузла показана на рисунку 3. Це дозволяє в робочому режимі без зупинки агрегата плавно регулювати ексцентриситет дебалансу в діапазоні 15...60 мм, а отже й збурювальну силу – в діапазоні 36–100 % від номінального значення (від 1,85 до 5,18 кН).

На основі модернізації проведено числові розрахунки напружено-деформованого стану в САЕ-системі ANSYS Workbench 2024 R2 STUDENT для базової та модернізованої конструкцій. Матеріал – сталь 40Х ($\sigma_T = 785$ МПа). Тип скінченних елементів – Solid186 (20 вузлів, гексаедральний); кількість вузлів 84 327, елементів 52 184.

Граничні умови: жорстке заземлення (Fixed Support) у місцях встановлення підшипникових опор; обертальна швидкість $\omega = 157$ рад/с (Rotational Velocity); гравітаційне навантаження $g = 9806,6$ мм/с² (Standard Earth Gravity). Модернізована конструкція додатково навантажена тиском робочої рідини $P = 6$ МПа на робочу поверхню поршня гідроциліндра.

Результати числових розрахунків наведено в таблиці 1.

За результатами розрахунку модернізована конструкція забезпечує плавне регулювання збурювальної сили в діапазоні 36–100 %, що відсутнє в базовій конструкції. Збільшення максимальних напружень у режимі $r_{\max}$ на 25,4 % є наслідком ускладнення кінематики й компенсується ефектами модернізації: у режимі $r_{\min}$ напруження зменшуються у 2,7 раза, що збільшує ресурс підшипникових вузлів вібратора в 3,2 раза (з 25 000 до 79 000 годин за моделлю Лундберга–Пальмгрена).

Таблиця 1 – Результати числового моделювання

Параметр	Базова	Мод. (r_max)	Мод. (r_min)
Збурювальна сила F_0 , кН	4,93	5,18	1,85
Макс. напруження σ_{max} , МПа	142	178	52
Макс. переміщення Δ_{max} , мм	0,082	0,094	0,028
Коефіцієнт запасу міцності n	5,53	4,41	15,1
Регулювання F_0 , %	немає	36...100	36...100

Висновки. Механічні характеристики модернізованого вузла суттєво відрізняються від характеристик базового та забезпечують більш широкі функціональні можливості. За результатами розрахунку в САЕ-системі ANSYS Workbench модернізований вузол витримає навантаження, які будуть прикладатись під час експлуатації – коефіцієнт запасу міцності $n = 4,41$ (макс. режим) та $n = 15,1$ (мін. режим) у всіх випадках перевищує допустиме значення $[n] = 2,5$.

Збурювальна сила регулюється в робочому режимі в діапазоні 36–100 % (від 1,85 до 5,18 кН), що відповідає вимогам експлуатації віброшнекового живильника у виробництві комбікормів з широкою номенклатурою компонентів (насипна густина 400–700 кг/м³). Маса модернізованого вузла зросла лише на 12 % (з 25 до 28,2 кг), що практично не впливає на компоновальні характеристики живильника. Ресурс підшипникових вузлів вібратора в режимі часткового завантаження збільшується в 3,2 раза (з 25 000 до 79 000 годин).

Очікуваний економічний ефект від впровадження модернізованого вузла на одну виробничу лінію оцінено в межах 180–240 тис. грн на рік за рахунок зниження браку від неточного дозування, зменшення витрат на технічне обслуговування підшипникових вузлів та скорочення простоїв на переналаштування при зміні рецептури.

Перелік посилань

1. Щербина В.Ю. Технологія виробництва матеріалів і виробів будівельного призначення. Щербина В.Ю., Швачко Д.Г., Гур'єва Л.Н. КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ. 2024. – 188 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66516>
2. Мікульонок І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 172 с. URL: Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66408>
3. Пат. 150805U Україна, МПК (2006.01) B65B 37/10. Віброшнековий живильник / І. О. Мікульонок, Д. Г. Швачко, Є. С. Коноваленко. № u202106711 ; заявл. 26.11.2021 ; опубл. 20.04.2022, Бюл. № 16. 4 с.
4. Пат. 139147 U Україна, МПК B06B 1/16. Дебалансний вібратор / С. І. Малюта. Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного. № u201906525 ; заявл. 14.06.2019 ; опубл. 26.12.2019, Бюл. № 24. 4 с.

Дослідження енергоефективності та надійності модернізованої валкової дробарки для подрібнення механічного забруднення у стічній воді

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

У роботі розглянуто нову конструкцію валкової дробарки для подрібнення кускового механічного забруднення (зокрема синтетичних матеріалів та твердих відходів) у стічній воді. Запропоновано оригінальне виконання ріжучих дисків із інструментальної сталі, закріплених на валах за допомогою шліців, з профільованими виступами та западинами на периферії. Показано, що застосування нової геометрії ріжучих елементів та вдосконаленого способу їх кріплення дозволяє суттєво підвищити надійність і термін служби пристрою порівняно з відомими аналогами. Приведено опис конструкції, принцип роботи та основні геометричні параметри, визначені експериментально.

Ключові слова: валкова дробарка, ріжучі диски, подрібнення, стічна вода, інструментальна сталь, шліцьове з'єднання.

Вступ. Ефективне очищення стічних вод від механічного забруднення є важливою складовою сучасних технологій водопідготовки та захисту довкілля. Для подрібнення кускових відходів (синтетичні матеріали, тверді включення, тощо) широко застосовуються дробарки різних типів. Однак більшість існуючих конструкцій валкових дробарок мають суттєві недоліки: низьку надійність кріплення ріжучих елементів, швидке зношення ножів, заклинювання пристрою та значні бокові навантаження, що призводить до поломок і скорочення терміну експлуатації.

Основний матеріал. Валкова дробарка містить корпус 1, до якого приєднаний приймальний вузол, виконаний у вигляді жолоба 2. В середині корпусу 1 розміщений валковий різальний механізм, виконаний у вигляді двох однакових валів 3 і 4, змонтованих з можливістю зустрічного обертання. Кожен вал оснащений набором дисків 5, які виконані із інструментальної сталі і закріплені на валах за допомогою шліц 6. На периферії кожного з дисків 5 по колу виконані від 4 до 16 виступів 7, переміжних з такою ж кількістю западин 8.

Горизонтальний бік 9 западини 8 диска 5 виконаний під кутом α , який дорівнює $90-120^\circ$ до вертикальної осі 10 диска 5. Вертикальний бік 11 западини 8 виконаний під кутом β , який дорівнює $80-85^\circ$ до горизонтального (рис.1). Вертикальний 11 бік западини 8 з'єднаний з горизонтальним 9 за допомогою сполучення, яке у перерізі має форму дуги R (рис.2).

Між двома сусідніми дисками, розміщеними на одному валу, розташована втулка 12 циліндричної форми з осьовим отвором, діаметр якої d менше діаметра диска D (рис.3).

Валковий різальний механізм приєднаний до приводного механізму, який складається з електродвигуна 13, редуктора 14 і зубчастої передачі 15 (рис.1).

В основу вдосконалення поставлено задачу створення валкової дробарки [1] з підвищеним терміном дії за рахунок вдосконалення конструкції ріжучих елементів і способу їх кріплення на валах.

Технічний результат полягає в збільшенні терміну служби пристрою. Поставлена задача вирішується тим, що у валковій дробарці, яка містить корпус, привідний механізм, валковий різальний механізм у вигляді двох однакових валів, змонтованих з можливістю зустрічного обертання, набір дисків та приймальний жолоб, диски виконані із інструментальної сталі і закріплені на валах за допомогою шліців [1-2].

На периферії кожного диска по колу виконано від 4 до 16 виступів, переміжних з такою ж кількістю западин. Горизонтальний бік западини (одночасно бік виступу) виконаний під кутом $90-120^\circ$ до вертикальної осі диска, вертикальний бік – під кутом $80-85^\circ$ до горизонтального. Обидва боки з'єднані плавним дуговим сполученням. Між сусідніми дисками на одному валу

розміщено циліндричну втулку меншого діаметра. Відстань між втулкою одного вала і диском іншого вала становить 0,8–1,5 мм.

Усі зазначені параметри (кількість виступів, кути профілю, відстань між елементами) встановлено експериментально [2]. Їх вихід за межі рекомендованих діапазонів призводить до погіршення технічних характеристик і зниження надійності [1].

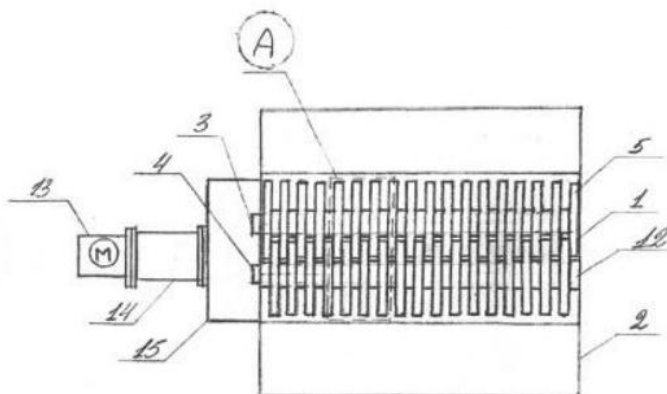


Рисунок 1 – Загальний вид валкової дробарки (вид зверху) [2]

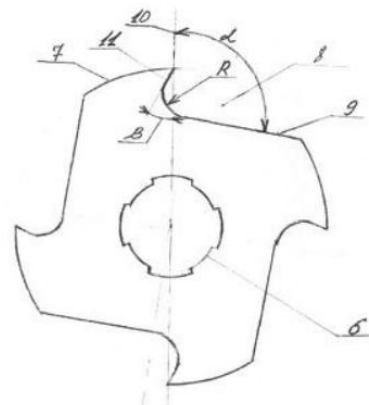


Рисунок 2 – Ріжучий диск [2]

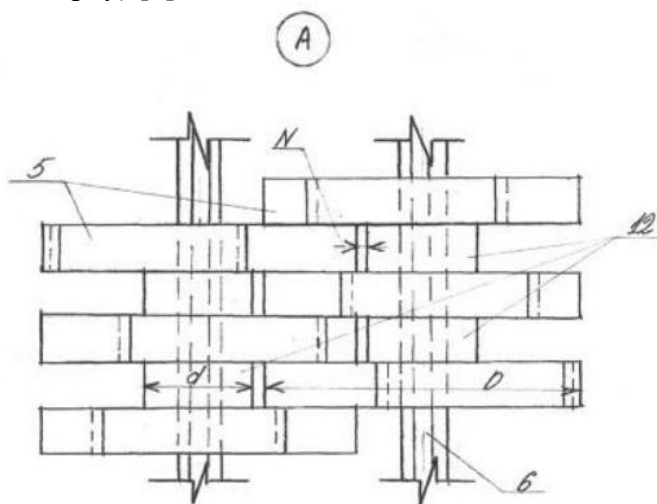


Рисунок 3 – Вузол А (кріплення дисків і втулок) [2]

Принцип роботи полягає в захопленні сміття профільованими дисками, які виконують функцію ножів. Подрібнення відбувається шляхом різання, а відстань між втулками і дисками сусідніх валів регулює крупність готового продукту.

Висновки. Запропонована конструкція валкової дробарки завдяки новій геометрії ріжучих дисків, шліцьовому кріпленню та оптимальним зазором між елементами дозволяє значно підвищити надійність і термін експлуатації порівняно з відомими аналогами. Удосконалення забезпечує ефективне подрібнення механічного забруднення у стічних водах, сприяє зменшенню простоїв обладнання та зниженню експлуатаційних витрат. Конструкція рекомендована до впровадження на підприємствах водоочищення та хімічної промисловості.

Перелік посилань

1. Валкова дробарка: пат. 98232 U Україна / Степанов О. В., Руденко І.І., Лижніков Є.С. № u201410994; заявл. 08.10.2014; опубл. 27.04.2015, бюл. № 8/2015. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/885125/>
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.

Екструдер з модернізованим черв'яком

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

У роботі розглянуто конструкцію, принцип дії та розрахунок одночерв'ячного екструдера 63×25, призначеного для виробництва трубних виробів із полівінілхлориду (ПВХ) діаметром 100 мм. На основі патентно-літературного огляду обґрунтовано вибір модернізації черв'яка: перехід від односекційної до двосекційної конструкції з незалежним приводом. Виконано інженерні розрахунки геометрії черв'яка, продуктивності, перепаду тиску в екструзійній головці та потужності приводу. Досліджено напружено-деформований стан 3D-модель модернізованого черв'яка у середовищі ANSYS. Отримані результати підтверджують працездатність конструкції.

Ключові слова: екструдер, модернізація, черв'як, екструзія, полівінілхлорид.

Вступ. Екструзія є одним із найпоширеніших методів безперервного формування виробів із термопластів. Черв'ячні екструдери широко використовуються у полімерній, будівельній та хімічній промисловості для виробництва труб, плівок, профілів і кабельної ізоляції [1]. Постійне зростання обсягів переробки полімерних матеріалів, у тому числі вторинної сировини, висуває підвищені вимоги до надійності та продуктивності екструзійного обладнання [2].

Одним із найбільш навантажених вузлів черв'ячного екструдера є черв'як, зокрема його хвостова частина, яка сприймає значні осьові зусилля та крутні моменти. Знос або руйнування цього вузла призводить до зупинки виробництва та суттєвих економічних втрат. Тому вдосконалення конструкції черв'яка є актуальним завданням [2].

Метою роботи є модернізація одночерв'ячного екструдера 63×25 шляхом переходу до двосекційної конструкції черв'яка з незалежним приводом кожної секції. Таке рішення дозволяє розподілити навантаження між секціями, підвищити надійність машини та розширити діапазон перероблюваної сировини.

Методи і матеріали.

Для досягнення поставленої мети застосовано комплекс методів.

1. Патентно-літературний огляд. Проаналізовано сім технічних рішень [3-9] щодо вдосконалення конструкцій черв'яків та екструзійних головок із патентних баз даних України. Критеріями відбору слугували: підвищення надійності вузлів, стабілізація потоку розплаву, покращення змішувального ефекту та можливість переробки матеріалів із низькою насипною густиною.

2. Аналітичні розрахунки. Інженерні розрахунки виконано на основі гідродинамічного підходу до аналізу течії розплаву в зоні дозування черв'яка. Об'єктом розрахунку є екструдер із черв'яком діаметром $D = 63$ мм та відношенням $L/D = 25$. Перероблюваний матеріал – полівінілхлорид (ПВХ) з температурою переробки 170°C . Матеріал черв'яка – сталь 40ХН2МА з межею текучості $\sigma_T = 850$ МПа, яка після азотування піддається шліфуванню для підвищення зносостійкості робочої поверхні.

3. CAD/CAE моделювання. Тривимірну модель двосекційного черв'яка побудовано у середовищі SolidWorks методами твердотільного параметричного моделювання. Числовий розрахунок напружено-деформованого стану виконано у програмному пакеті ANSYS з урахуванням температурних навантажень, крутного моменту та осьових сил, що діють на черв'як під час роботи екструдера.

Результати та обговорення.

Вибір модернізації. За результатами патентного огляду для модернізації обрано технічне рішення відповідно до патенту №112310 – двосекційний черв'як із незалежним приводом обертання кожної секції [3]. Перша секція (з боку завантажувального отвору) виконана більшого діаметра з можливістю поздовжнього переміщення відносно другої секції та оснащена

незалежним приводом [3]. Така конструкція дозволяє розвантажити хвостову частину черв'яка шляхом незалежної передачі осьових зусиль та обертових моментів на кожну секцію, що суттєво підвищує надійність машини.

Геометричні параметри черв'яка. Розраховано основні геометричні параметри черв'яка (рис. 1):

- крок гвинтової лінії $t = 63$ мм;
- глибина каналу в зоні завантаження $h_1 = 8$ мм, у зоні дозування $h_3 = 2,7$ мм;
- загальна довжина черв'яка $L = 1765$ мм;
- зазор між черв'яком і гільзою $\delta = 0,15$ мм;
- робоча частота обертання черв'яка $n_p = 0,98$ с⁻¹.

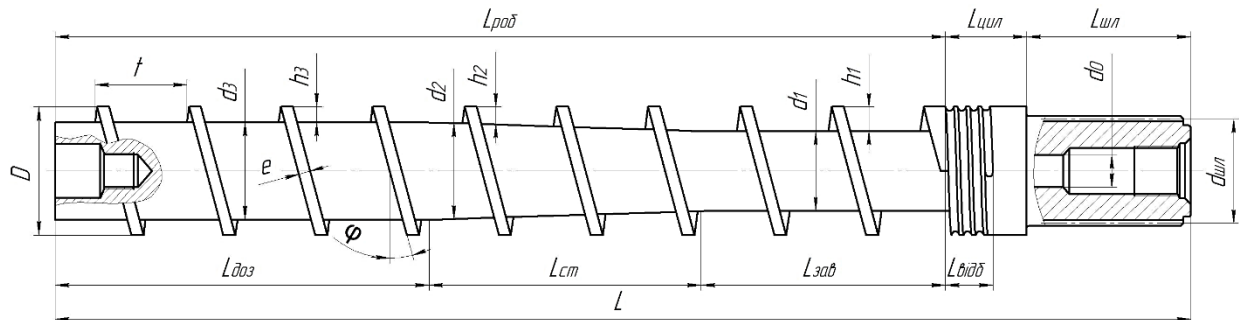


Рисунок 1 – Схема черв'яка екструдера 63×25 із позначенням геометричних параметрів [10]

3D-моделювання та числовий розрахунок міцності. У середовищі SolidWorks побудовано 3D-модель двосекційного черв'яка (рис. 2). Конструктивно черв'як складається з двох секцій із різними геометричними параметрами нарізки, охолоджувального каналу, наконечника та шпонкового пазу для з'єднання секцій. Конусоподібні лопаті на початку другої секції забезпечують плавне захоплення матеріалу та зниження пікових навантажень.

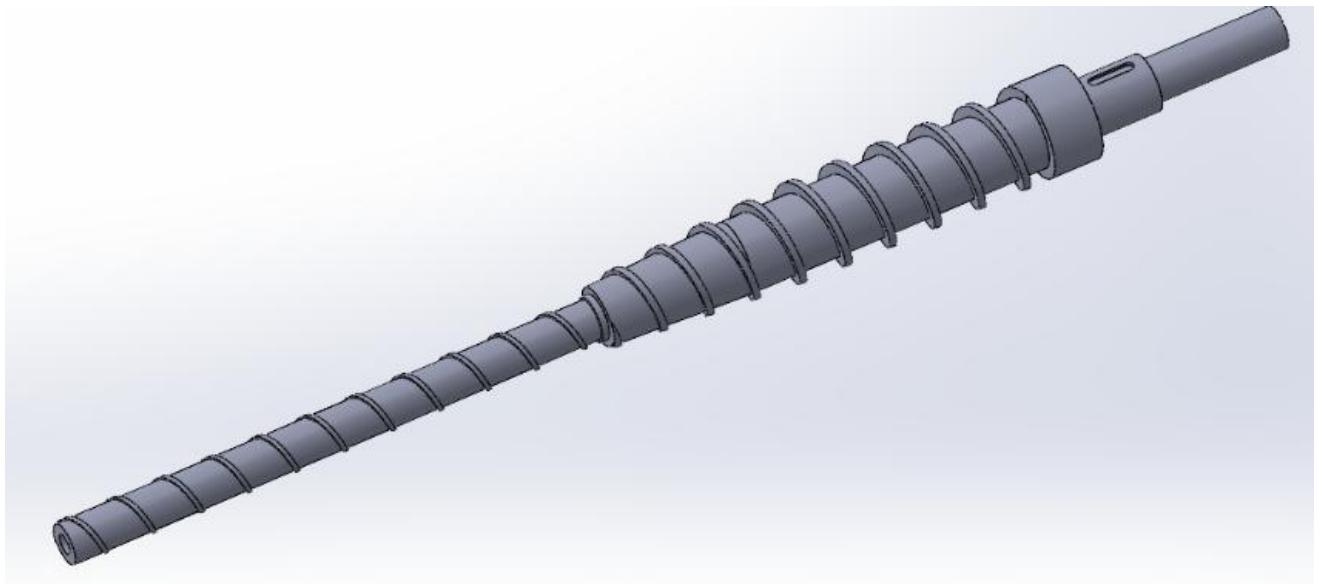


Рисунок 2 – 3D-модель модернізованого двосекційного черв'яка (SolidWorks)

Числовий розрахунок у ANSYS виконано при температурі розплаву ПВХ $t = 170^\circ\text{C}$ з урахуванням фактичних крутного моменту та осьової сили. За результатами розрахунку:

- максимальне еквівалентне напруження $\sigma_{\text{екв}} = 183,95$ МПа;
- коефіцієнт запасу міцності $n = \sigma_t / \sigma_{\text{екв}} = 850 / 183,95 = 4,62$.

Отримане значення коефіцієнта запасу міцності суттєво перевищує нормативне значення, що підтверджує достатню міцність модернізованої конструкції черв'яка за реальних умов експлуатації.

Висновки.

За результатами виконаної роботи отримано наступне:

1. На основі аналізу результатів патентного пошуку обрано та обґрунтовано модернізацію черв'яка екструдера 63×25 відповідно до патенту №112310 – перехід до двосекційної конструкції з незалежним приводом кожної секції.
2. Виконано повний комплекс інженерних розрахунків: визначено геометричні параметри черв'яка, розраховано продуктивність $Q = 3,63 \text{ см}^3/\text{с}$ ($\Pi = 3706 \text{ кг/год}$), перепад тиску в головці $\Delta P = 1,87 \text{ МПа}$ та розрахункову потужність двигуна $N_{\text{дв}} = 8633 \text{ Вт}$.
3. За результатами числового дослідження міцності в ANSYS підтверджено працездатність модернізованої конструкції: коефіцієнт запасу міцності становить $n = 4,62$, що відповідає вимогам надійної тривалої експлуатації.

Застосування двосекційного черв'яка дозволяє розвантажити хвостову частину – найбільш напружену зону традиційного черв'яка – шляхом незалежної передачі осьових зусиль та крутних моментів на кожну секцію, що суттєво підвищує ресурс обладнання та розширює діапазон перероблюваної сировини.

Перелік посилань

1. Вікіпедія - Вільна енциклопедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Екструзія> (дата звернення: 19.04.2026).
2. Мікульонюк І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 172 с. URL: Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66408>
3. Черв'ячний екструдер : пат. В29С47/38 В29С47/60 Україна. № u201606439; №112310. – 3с. (дата звернення: 29.04.2026)
4. Екструзійна головка : пат. В29С47/12 Україна. № u201613571; №117354. – 3с. (дата звернення: 29.04.2026)
5. Черв'як екструдера: пат. В29С17/00 Україна. № u201404917; №93385. – 3с. (дата звернення: 29.04.2026)
6. Черв'ячний екструдер : пат. В29С47/36 В30В9/14 Україна. № u201701975; №119024. – 3с. (дата звернення: 29.04.2026)
7. Одночерв'ячний екструдер : пат. В29С47/36 В30С11/24 Україна. № u201704609; №119897. – 3с. (дата звернення: 29.04.2026)
8. Черв'як екструдера : пат. В29С48/00 В29С48/84 Україна. № u201902287; №137428. – 3с. (дата звернення: 29.04.2026)
9. Черв'як екструдера : пат. В29С48/50 Україна. № u202201283; №151520. – 3с. (дата звернення: 29.04.2026)
10. Витвицький В. М., Мікульонюк І. О. Моделювання процесу живлення черв'ячного екструдера полімерною сировиною. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 136 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41177>