

Л. К. Поліщук¹
Р. М. Гулевич¹
В. Й. Шенфельд¹
С. О. Чубур¹

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЄКТУВАННЯ РОТОРНИХ ПОДРІБНЮВАЧІВ ДЕРЕВИННИХ МАТЕРІАЛІВ

¹Вінницький національний технічний університет

Зазначено важливість розробки ефективних конструкцій подрібнювачів деревинних матеріалів, як засобу отримання альтернативних джерел енергії для промисловості та населення. Наведено вимоги до пристроїв, які застосовуються для вторинного подрібнення деревинних матеріалів, щодо розмірів та однорідності фракції подрібненого матеріалу.

Проведений аналіз відомих технічних рішень подрібнювачів дозволив виділити характерні ознаки цього об'єкта проєктування, що дало змогу провести їх систематизацію, користуючись методами системного аналізу. В результаті його виконання за конструктивними, технологічними, економічними та дизайнерськими параметрами виділено основні елементи параметричного простору у вигляді об'ємної матриці.

На етапі створення нової конструкції подрібнювача деревинних відходів аналізувались тільки конструктивні параметри, які є властивими для виконання таких робіт. Визначено етапи деталізації, що відображають підпорядкованість параметричного простору, за якими виконувалось дослідження. В результаті дослідження параметричного простору об'єкта, що вивчався, за такими етапами деталізації як: універсальність, механізація, тип, різновидність, структура, характеристика структури, режим роботи, — розроблена класифікація подрібнювачів, яка дозволяє правильно оцінити загальні тенденції в створенні подрібнювачів, визначити шляхи створення нових розробок і вдосконалення наявних, а також розробити алгоритм їхнього проєктування.

За використання запропонованого системного підходу, який дозволив виконати цілеспрямований пошук нового технічного рішення з наперед заданими властивостями, розроблено нову конструкцію подрібнювача. Вона характеризується високими передатними числами і значною жорсткістю конструкції за менших габаритів передавального механізму, невеликими радіальними розмірами барабана, що забезпечується конструкцією з'являючого опорного елемента, яка дозволяє улаштувати в середині гідромотор і передавальний механізм співвісно корпусу барабана. Ця конструкція подрібнювача дозволяє забезпечити якісні показники вторинного подрібнення деревинних матеріалів, з яких виготовляються пелети, з високою теплотворною здатністю.

Ключові слова: роторні подрібнювачі, деревинні матеріали, системний підхід, класифікація, проєктування, вмонтований гідропривід.

Вступ

Нагальною проблемою паливно-енергетичного комплексу України є забезпечення енергоносіями підприємств та житла, яка ще більше загострилася в період військових дій і пошкоджень об'єктів енергетичної інфраструктури. Важливість цієї проблеми підтверджується прийнятими державними документами, такими як Енергетична стратегія на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», яка спрямована на підвищення використання відновлюваних джерел енергії та зниження залежності від традиційних енергетичних ресурсів [1].

Це створило відповідний попит на виробництво комплексів переробки деревинних матеріалів в пелети та брикети, які є екологічно чистими, мають високу енергетичну ефективність і не вимагають значних витрат на сировину, що сприяє зменшенню залежності від імпортованих енергоносіїв. Останнім часом значна увага, переважно малих підприємств України, зосереджена на виготовленні пелет не лише для власних потреб, але і на експорт до інших країн.

Постановка проблеми

Важливим етапом у виробництві брикетів та пелет є технологічна підготовка, яка полягає у додатковому сушінні та вторинному подрібненні деревинних матеріалів. Від якості подрібнення суттєво залежить якість виготовлення кінцевого продукту, яка впливає на його теплотворну здатність та умови зберігання. Важливою вимогою до підготовки сировини для виробництва пелет є забезпечення однорідності її фракцій, яка залежить від конструктивних характеристик та можливостей подрібнювача, а також режимів його роботи, зокрема, від швидкості обертання різальних інструментів, які закріплені на зовнішній поверхні барабана, від сили різання для різних за твердістю порід деревини.

Наявне обладнання, що використовується для вторинного подрібнення деревинних матеріалів має певні недоліки, які впливають на низку показників, що визначають ефективність процесу технологічної підготовки виготовлення пелет. Підвищенню ефективності використання подрібнювачів сприяє використання їх у складі мобільних комплексів, які можуть працювати безпосередньо в місцях заготівлі сировини, наприклад, під час санітарної вирубки лісів.

Тому виникла потреба у розробці подрібнювача деревинних матеріалів, який за своїми характеристиками відповідає зазначеним вимогам та здатний забезпечити якісну їхню переробку.

Для розв'язання поставленої задачі запропоновано системний підхід до створення нової конструкції подрібнювачів деревинних матеріалів [2], [3], який дозволяє проводити цілеспрямований пошук нового технічного рішення з наперед відомими властивостями та технічними характеристиками.

Метою роботи є підвищення якості виготовлених пелет за рахунок поліпшення параметрів процесу вторинного подрібнення деревинних матеріалів та забезпечення стабільності розмірів подрібнених фракцій шляхом застосування нової конструкції подрібнювача з гідроприводом.

Аналіз наявних технічних рішень

Проаналізуємо наявні технічні рішення подрібнювачів деревинних матеріалів для пошуку ефективнішої конструкції, яка забезпечить необхідну якість вторинного подрібнення.

На рис. 1 показано конструктивну схему подрібнювача молоткового типу з електроприводом [4].

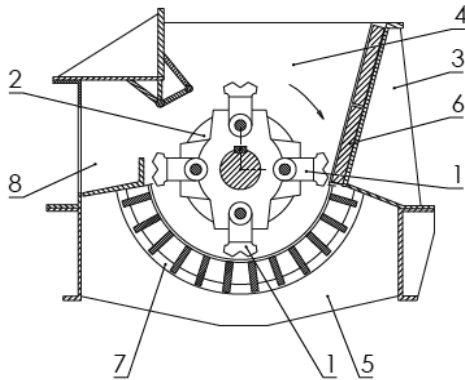


Рис. 1. Подрібнювач молоткового типу

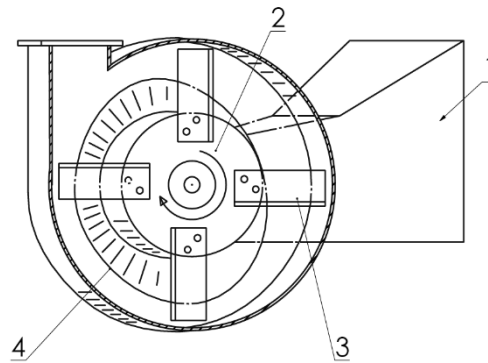


Рис. 2. Подрібнювач лопатевий барабанного типу

Особливістю цієї конструкції є використання молотків 1, шарнірно закріплених на роторі 2, як інструмента подрібнення. Ротор 2 встановлено в корпусі 3, в якому передбачено завантажувальний 4 та розвантажувальний 5 отвори. Подрібнення відбувається за рахунок ударів молотків 1 по деревині в місці звуження руйнівної пластини 6, яка в подрібненому вигляді переноситься через решітки 7 до розвантажувального отвору 5. В конструкції передбачено вилучення металевих предметів в камеру-пастку 8 за рахунок інерційної сили, що створюються обертальним рухом молотків 1.

До недоліків цієї конструкції подрібнювача слід віднести неможливість створення однорідної фракції подрібненої деревини та неможливість регулювання швидкості руху молотків, а разом з нею, регулювання сили подрібнення незалежно від твердості матеріалу.

Крім молотків в подрібнювачах, як робочий інструмент, використовуються також лопаті, що закріплені в корпусі барабана (рис. 2) [5].

Подрібнювач з механічним приводом має завантажувальний пристрій 1, через який подається деревина або інші матеріали. Він оснащений різальним барабаном 2, на якому закріплені лопаті 3.

Деревина, яка подається в завантажувальний пристрій, подрібнюється різальним барабаном 2 і виводиться за допомогою розвантажувального пристрою. Подрібнювач може також оснащуватися ковадлом для покращення якості подрібнення.

Різальний барабан 2 підтримується опорою, наприклад, приводним валом. Він має циліндричну форму з принаймні одним змінним різальним інструментом 3, який встановлений на тримачі по довжині ріжучого барабана. Порожнина 4 частково охоплює різальний барабан 2 в його нижній частині і розширюється на відстані від різального барабана по його довжині. Днище разом з кожухом має конічну внутрішню форму.

На рис. 3 розглянуто схему з чотирма лопатями, які виходять за межі зовнішньої поверхні барабана.

Різальний барабан і розвантажувальний вузол можуть бути встановлені на причепі мобільної машини. Подрібнювач може також містити обмежувальний ролик, встановлений поруч з входним отвором 1 для регулювання швидкості подачі деревини.

До переваг цієї конструкції слід віднести можливість роботи подрібнювача з мобільним транспортним пристроєм, а основні його недоліки подібні до тих, що зазначені в попередній конструкції подрібнювача.

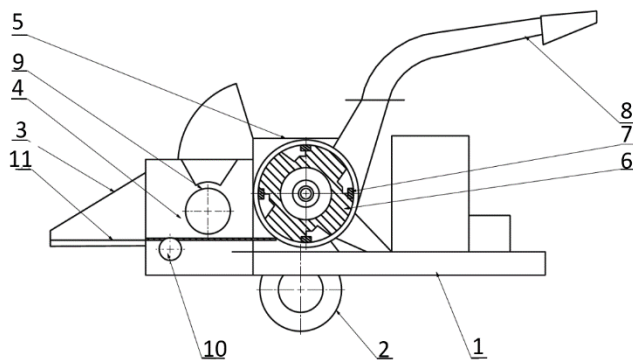


Рис. 3. Мобільний подрібнювач деревини барабанного типу

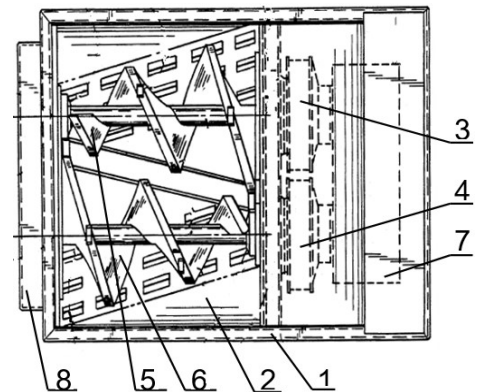


Рис. 4. Подвійний шнековий подрібнювач з електроприводом

Подрібнювач деревини фрезерного типу з гідравлічним приводом показано на рис. 3 [6]. У зображеному варіанті виконання подрібнювач встановлений на рамі 1, яка улаштована на колісній ході 2, що забезпечує мобільність та зручне переміщення подрібнювача. Подрібнювач містить завантажувальний лоток 3, систему подачі 4, яка захоплює і тягне деревину із завантажувального лотка 3 в частину корпусу 5 подрібнювача, в якому розміщений барабан 6 із закріпленими на ньому різцями 7 у вигляді ножів, які розрізають деревину на дрібні частинки. Після того дрібні частинки матеріалу виводяться з подрібнювача через розвантажувальний жолоб 8.

Система подачі 4 включає верхній подавальний ролик 9 і нижній подавальний ролик 10. Верхній подавальний ролик 9 обертається проти годинникової стрілки, а нижній подавальний ролик 10 обертається за годинниковою стрілкою, щоб захоплювати і втягувати матеріал у подрібнювач. Обертання подавальних роликів приводиться в дію гідравлічним приводним двигуном (не показаний). Вісь нижнього подавального ролика 10 знаходиться нижче частини столу 11 завантажувального лотка 3 так, що зубці нижнього подавального ролика 10 виступають над поверхнею столу 11. Верхній подавальний ролик 9 змонтований на вузлі кронштейна, який дозволяє йому повертатися вгору і вниз для пристосування до різної товщини деревини.

Конструкція цього подрібнювача не дозволяє отримати розміри частинок матеріалу, властивих процесу вторинного подрібнення, і також не вирішує проблему однорідності фракцій подрібненого матеріалу деревини.

Подрібнювач, показаний на рис. 4, містить раму 1, на якій улаштовано бункер 2 та механізми приводу 3 та 4 шнеків 5 і 6, що мають зворотну конусність по відношенню один до одного [7]. Кожен зі шнеків 5 та 6 встановлено на циліндричних валах, і оснащено конічними лопатями. Кожухи 7 і 8 захищають приводні механізми і опори підшипників від пошкоджень.

Розглянутий подрібнювач за принципом дії відрізняється від проаналізованих наявністю шнеків 5 та 6, які у своєму взаємному русі подрібнюють різні промислові відходи, зокрема, з деревини. Цей пристрій не використовує для своєї роботи різальні кромки як такі і до них не висуваються

жорсткі вимоги щодо допусків поверхонь. У ньому немає контакту леза з лезом, і матеріал, введений у бункер 2, подрібнюється та концентрується у центральній секції бункера 2. Механічна сила використовується для притискання введеного матеріалу до самого себе, гвинтових лопатей шнеків 5 та 6 і, таким чином, введений матеріал подрібнюється. Сила не прикладається до ковадла або різальної кромки, як в інших типах подрібнювачів. Не існує «переважної» орієнтації деревини для завантаження матеріалу в подрібнювач.

Через невеликі швидкості обертання шнеків цей подрібнювач не потребує значного енергоспоживання. Проте, він вирішує лише задачу подрібнення деревини, але не забезпечує її дрібнофракційне подрібнення і однорідність. Крім того, наявність електропривідних механізмів передбачає стаціонарне улаштування таких подрібнювачів і унеможливорює його застосування у мобільних пристроях.

На рис. 5 подано конструктивну схему подрібнювача деревинних відходів [8], що містить раму 1, в якій улаштовано ротор 2 дробарки, розміщений в каркасній конструкції. На роторі 2 закріплено ріжучі інструменти з вмонтованими лезами у вигляді ножів 3 та 4. Ножі на роторі взаємодіють з контрножами 5, 6, встановленими на каркасній рамній конструкції.

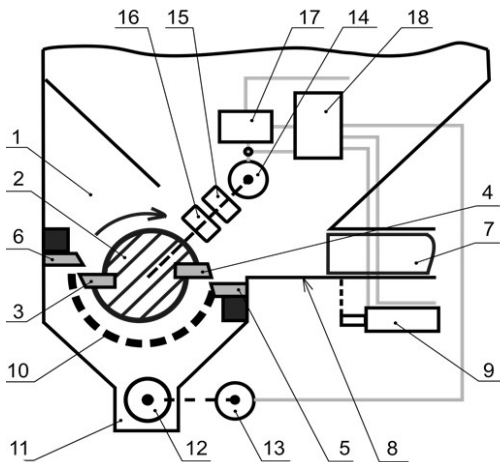


Рис. 5. Конструктивна схема подрібнювача деревинних відходів

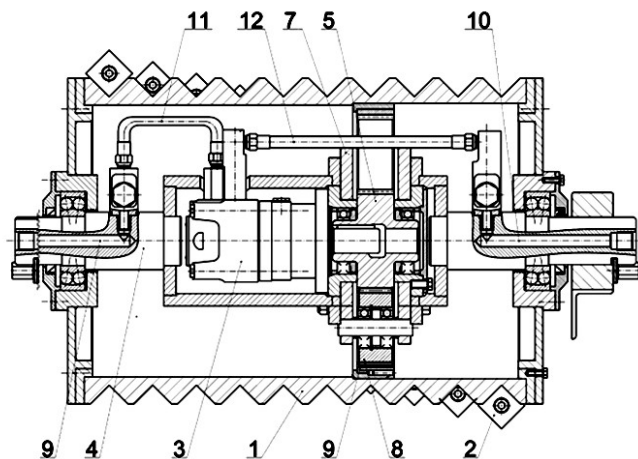


Рис. 6. Конструкція подрібнювача деревинних відходів з вмонтованим гідроприводом

Повзун подачі 7 може переміщуватися базовою стінкою 8, причому, зазначений повзун подачі виконаний у вигляді порожнистої коробчастої деталі і може рухатися вперед і назад за допомогою робочого циліндра 9 подвійної дії.

Між контрножами 5, 6 розташоване сито 10 з отворами у формі напівциліндра, яке знаходиться поза траєкторією руху кінців ножових елементів 3, 4. Відрізані шматки, що потрапляють крізь сито 10, косо нахиленими нижніми стінками бункера спрямовуються вниз до збірного каналу 11, в якому рухається транспортерний шнек 12. До цього шнека приєднаний черв'ячний привід 13.

Ротор 2 отримує обертальний рух від електричного синхронного двигуна 14 через редуктор 15 і зчипну муфту 16. Для регулювання швидкості обертання ротора 2 та транспортерного шнека 12 застосовуються пристрої керування 17, 18.

Тверді компоненти подрібнюваного матеріалу, які застрягли між ножами 3, 4 і контрножами 5, 6, знову вивільнюються і за рахунок обертання ротора знову потрапляють в зону різання для подальшого подрібнення.

У випадку потрапляння деревини з металевими включеннями або інших твердих матеріалів в зону різання ротора 2, він різко зупиняється за рахунок спрацьовування муфти 16 межового моменту, що запобігає пошкодженню ножів, контрножів, деталей редуктора 15 та електродвигуна 14.

Недоліком пристрою є збільшені габаритні розміри подрібнювача через зовнішнє розташування двигуна, редуктора та з'єднувальної муфти, підвищена металоємність, а також понижені показники питомої потужності.

На рис. 6 показано конструкція подрібнювача деревинних відходів з вмонтованим гідроприводом, яка розроблена на кафедрі галузевого машинобудування ВНТУ [9]. Він містить корпус барабана 1 з улаштованими на його поверхні за гвинтовою лінією різцями 2, та вмонтований гідравлічний привід, що розміщений в середині корпусу барабана 1. Він складається з гідромотора 3, розміщеного в порожнині складеної піввісі 4, вал якого жорстко з'єднаний з шестірнею 5 переда-

вального механізму, яка через проміжні зубчасті колеса 6, що зафіксовані в корпусі передавального механізму 7, кінематично зв'язана з коронним зубчастим колесом 8, жорстко закріпленим на внутрішній поверхні корпусу барабана 1. У суцільних частинах складеної піввісі 4 (правій та лівій) виконані канали 9 та 10, які через трубопроводи 11, 12 з'єднують напірну та зливну магістралі з робочою камерою гідромотора 3.

Застосування вмонтованого гідравлічного приводу, враховуючи його відомі переваги перед розглянутими приводами [10], дає можливість суттєво зменшити габарити подрібнювача, його металомісткість, регулювати робочі параметри процесу подрібнення залежно від твердості матеріалу та забезпечує його мобільність.

Недоліком цього пристрою є недостатня довговічність роботи, обумовлена наявністю у передавальному механізмі приводу одноступінчастої багатопоточної циліндричної передачі, а невеликі передатні числа накладають обмеження на діапазон частот обертання та діаметральні розміри корпусу барабана. До того ж, наявність зазорів в передавальному механізмі зменшує жорсткість конструкції подрібнювача.

Найефективнішими є використання двох типів інструментів, а саме з V-подібним (рис. 7) і F-подібним (рис. 8) ротором. На корпусах барабанів 1 в спеціально улаштованих поверхнях закріплено спеціальні різці 2 з шевронним та гвинтовим розташуванням відповідно. Таке улаштування різців забезпечує високу питому силу різання і постійність подачі.

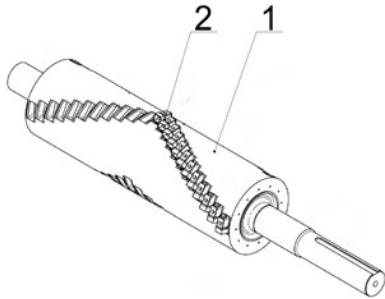


Рис. 7. Ротор подрібнювача з шевронним (V-подібним) розташуванням різальних інструментів

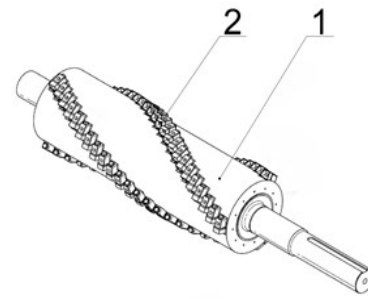


Рис. 8. Ротор подрібнювача з гвинтовим (F-подібним) розташуванням різальних інструментів

Часто промислові подрібнювачі мають не один ротор, а два або більше. Такі подрібнювачі називаються двороторними або багатороторними. Їх використовують для подрібнення найтвердіших матеріалів і наразі вони є найпотужнішими і найдовговічнішими.

Результати дослідження

Проведений аналіз конструктивних схем подрібнювачів дозволяє виокремити характерні ознаки, систематизувати їх і розробити класифікацію, яка дасть можливість вести цілеспрямований пошук шляхів створення нових і вдосконалення наявних. Якщо для створення класифікації виокремлення необхідних ознак підпорядкувати принципам системного аналізу, то така класифікація буде відображати внутрішню організацію, порядок і побудову механічної системи таким чином,

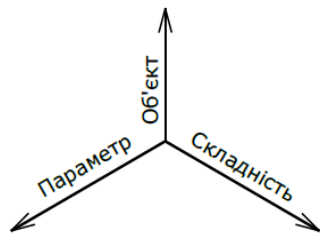
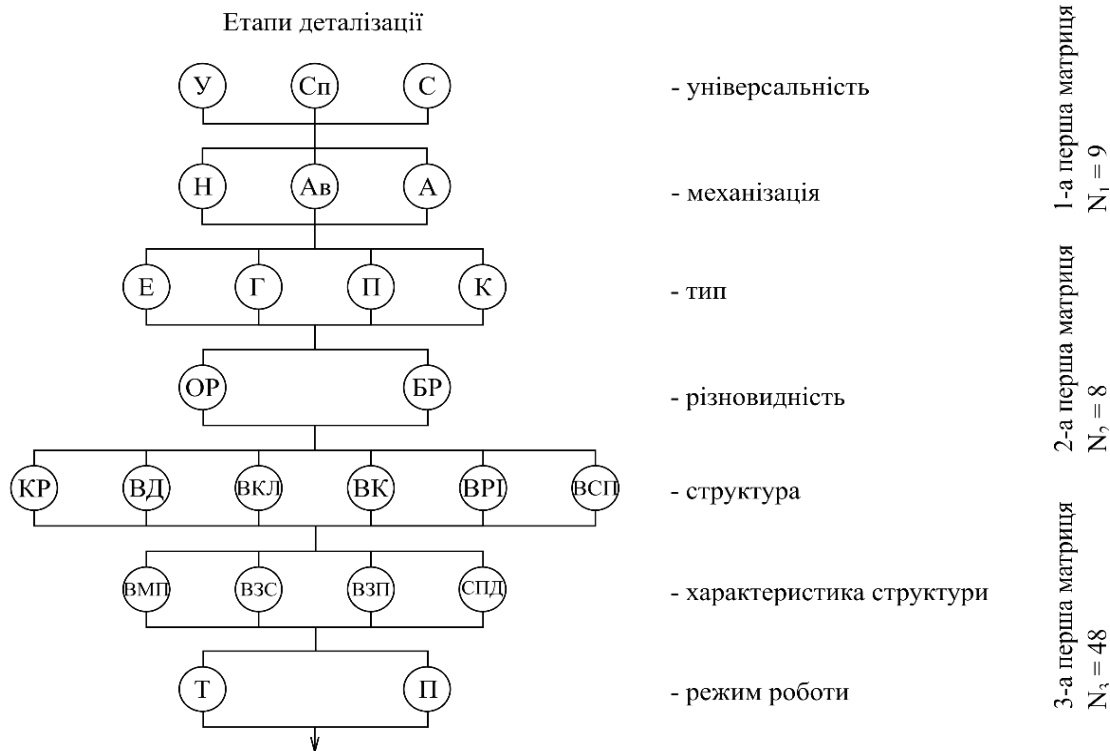


Рис. 9. Структура матричного відображення елементів параметричного простору подрібнювача

що дозволить створити підґрунтя для розробки алгоритму безмашинного проектування нових систем, а у разі детальнішої розробки — алгоритму автоматизованого проектування. Оскільки подрібнювач є детермінованою системою, то в ній є можливість передбачити взаємодію її елементів, а отже спроектувати подрібнювач з наперед відомими властивостями. За результатами виконаного системного аналізу конструкцій подрібнювачів за конструктивними, технологічними, економічними та дизайнерськими параметрами, виділено основні елементи параметричного простору. Підпорядкованість і взаємозв'язок елементів цього простору відображається у вигляді об'ємної матриці, структура якої показана на рис. 9.

На кожному етапі деталізації проводився аналіз властивих тільки цьому етапу параметрів. Проте, враховуючи, що на початковому етапі розробок їхній рівень не виходить за межі конструктивних рішень, то на цьому етапі найважливішим є аналіз лише конструктивних параметрів.

Дослідження параметричного простору об'єкта розробки (рис. 10) проводилося за такими основними етапами деталізації як універсальність, механізація, тип, різновидність, структура, характеристика структури, режим роботи. Перша матриця створена за ступенем універсальності та механізації: за універсальністю подрібнювачі поділяємо на універсальні (У), спеціалізовані (Сп), спеціальні (С); за ступенем механізації — неавтоматизовані (Н), автоматизовані (Ав), автоматичні (А).



Загальне число варіантів $N = N_1 \cdot N_2 \cdot N_3 = 9 \cdot 8 \cdot 48 = 3456$

Рис 10. Структура деталізації елементів параметричного простору подрібнювачів

Друга матриця складається за типом і різновидністю подрібнювачів: за типом, що визначається застосованою енергією, поділяється на електричні (Е), гідравлічні (Г), пневматичні (П), комбіновані (К); за різновидністю — однороторні (Ор) та багатороторні (БР).

Третя матриця містить структуру, характеристику структури і режим роботи подрібнювача. За структурою виділяємо такі ознаки: конструкція робочої ланки (КР), за видом двигуна (ВД), за видом кінематичного ланцюга (ВКЛ), за видом керування (ВК), за видом робочого інструмента (ВРІ), за видом спеціальних пристроїв (ВСП); за характеристикою структури: за видом механічної передачі (ВМП), за видом зворотного зв'язку (ВЗС), за видом запобіжного пристрою (ВЗП), за способом пристроїв подачі деревини (СПД). За режимом роботи: тривалий (Т), перервний (П).

Виконані обчислення показують, що можна отримати 3456 можливих комбінацій, тобто таку ж кількість різних варіантів виконання подрібнювачів. Звичайно, що подальші розробки подрібнювачів можуть внести нові елементи параметричного простору, що розширить деталізацію на кожному з етапів і збільшить кількість варіантів конструкційного виконання подрібнювачів. Поелементний аналіз на кожному етапі деталізації дозволив виділити характерні ознаки проєктованого об'єкта.

Систематизувавши їх згідно структури деталізації, отримали класифікацію подрібнювачів, що подана на рис. 11.

Метою розробки подрібнювача, з високими питомими показниками різання за умови забезпечення необхідних параметрів, є підвищення питомої потужності, надійності, спрощення конструкції, зниження собівартості.

Для досягнення поставленої мети на стадії схемного пошуку, користуючись розробленою класифікацією, виділені такі основні конструктивні ознаки: ротор барабанного типу; гвинтове розташування різців на поверхні барабана; гідравлічний привід, що забезпечує регулювання кінематич-

них та силових параметрів; кульково-хвильова передача, яка забезпечує високі передатні числа і значну жорсткість конструкції за менших габаритів передавального механізму; зіставна вісь, яка з опорним елементом дозволяє улаштувати мотор і передавальний механізм співвісно корпусу барабана, що забезпечує невеликі радіальні розміри барабана.

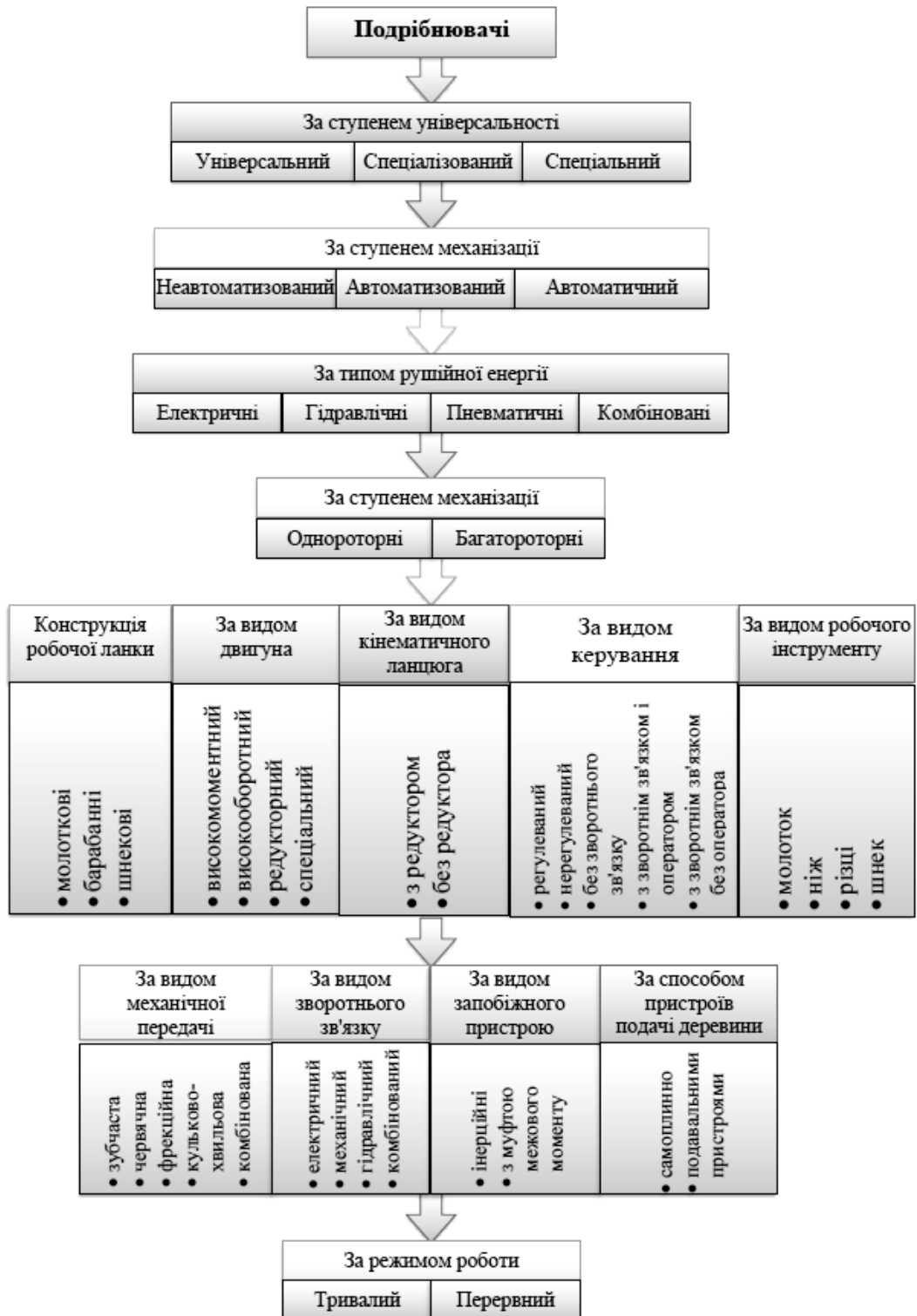


Рис. 11. Класифікація роторних подрібнювачів

Проектування виконувалось за алгоритмом, поданим на рис. 12 [3].

На рис. 13 показана 3-D модель розробленого на кафедрі галузевого машинобудування ВНТУ подрібнювача деревинних відходів, а на рис. 14 — його конструктивна схема.

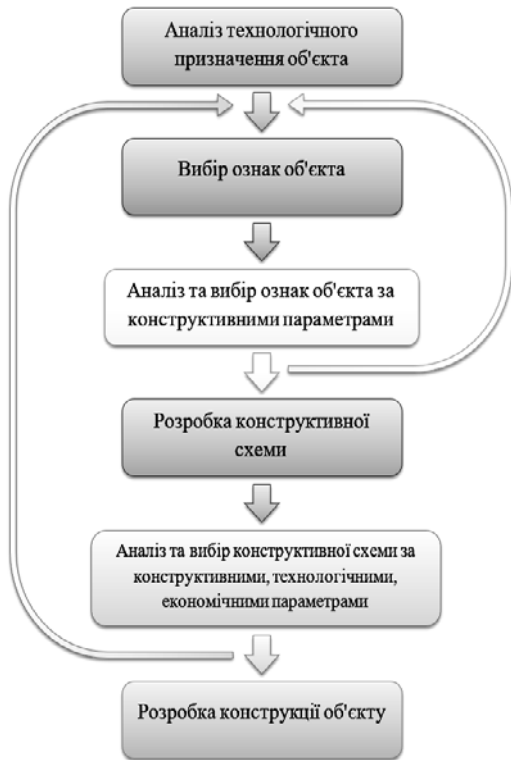


Рис. 12. Алгоритм проєктування подрібнювача

Це дозволяє урівноважити зміщені відносно осі обертання вала гідромотора маси.

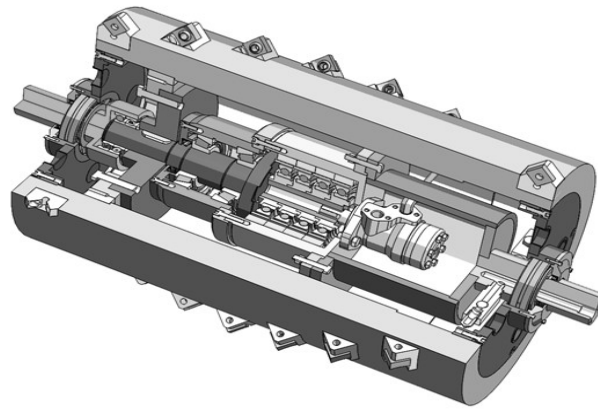


Рис. 13. 3D-модель подрібнювача

Подрібнювач деревинних відходів [11] містить барабан 1, з улаштованими на його поверхні за гвинтовою лінією різцями 2. Всередині корпусу барабана 1 встановлено вмонтований гідравлічний привід, який складається з гідромотора 3, що улаштований в середині першої піввісі 4, закріпленій на торцевій поверхні нерухомого корпусу 5 передавального механізму, жорстко з'єднаний з втулкою 6, на якій попарно за додатним і від'ємним ексцентриситетом встановлений генератор хвиль 7 у вигляді циліндричних кілець чотирьох секцій хвильових передач. Це дозволяє урівноважити зміщені відносно осі обертання вала гідромотора маси.

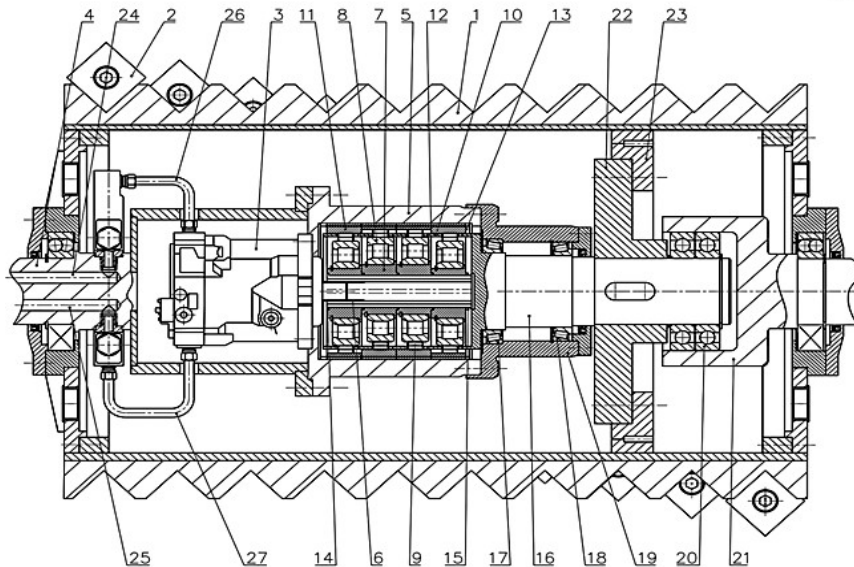


Рис. 14. Конструктивна схема подрібнювача, розробленого на кафедрі галузевого машинобудування ВНТУ

На зовнішній поверхні генератора хвиль 7 посаджено підшипник 8, зовнішнє кільце якого кінематично зв'язане з циліндричними роликками 9, що розміщені в пазах сепаратора 10, і мають можливість контактувати з зубцями жорсткого колеса 11, виконаними на його внутрішній поверхні. На зовнішній поверхні жорсткого колеса 11 передбачено поверхні, що забезпечують його жорстке з'єднання з нерухомим корпусом 5. На одній із торцевих поверхонь сепаратора 10 виконані пази 12, а на протилежній — виступи 13, за допомогою яких чотири секції хвильових передач з'єднуються між собою, утворюючи таким чином чотирирядну компоновку модуля передавального механізму.

На втулці 6 відносно бічних поверхонь крайніх секцій генератора хвиль 7 встановлено стопорні кільця 14 і 15, що служать для обмеження осьового переміщення секцій хвильових передач. Пази сепаратора 10 крайньої відносно гідромотора 3 секції хвильової передачі служать для зчеплення з

виступами, що виконані на кільцевій поверхні вихідного вала 16 передавального механізму, який встановлено на підшипниках 17 і 18, розміщених в корпусі підшипників 19, що з'єднаний з корпусом 5 передавального механізму, та на підшипниках 20, розміщених на внутрішній поверхні другої піввісі 21. На вихідному валі 16 між його опорами закріплено приводний диск 22, який нерухомо з'єднано з кільцем 23, що жорстко скріплене з внутрішньою поверхнею корпусу барабана 1.

Перша піввісь 4, друга піввісь 21 і нерухомий корпус 5 передавального механізму утворюють зіставну вісь барабана.

В середині першої піввісі 4 виконано два осьових канали 24 і 25, один з яких через напірний трубопровід 26 під'єднаний до робочої камери гідромотора, а інший, через зливний трубопровід 27 — до зливної камери гідромотора.

Подрібнювач деревинних відходів працює таким чином. Робоча рідина під тиском через осьовий канал 24, напірний трубопровід 26 подається в робочу камеру гідромотора 3, який встановлений всередині першої піввісі 4, закріпленій на торцевій поверхні нерухомого корпусу 5 передавального механізму. Вал гідромотора 3 приводить в рух втулку 6, на якій розміщені ексцентрикові генератори 7, осьові переміщення якої обмежені стопорними кільцями 14 і 15. Під час обертання ексцентрикового генератора хвиль 7 встановлені на ньому підшипники 8 викликають радіальні переміщення циліндричних роликів 9 в пазах сепаратора 10. Циліндричні ролики 9, обкочуючись по профілю зубчастого вінця жорсткого колеса 11, викликають обертання чотирьох секцій сепаратора 10, які з'єднані між собою за допомогою пазів 12 та виступів 13 на спряжених торцевих поверхнях сепаратора. За кожний оберт ексцентрикового вала сепаратор повертається на кут, що дорівнює $360^\circ/u$, де u — число зубців жорсткого колеса 11. Сепаратор 10 через пази, які виконані в крайній його секції, спряженні з виступами на торці кільцевої поверхні вихідного вала 16 модуля передавального механізму, надає йому обертального руху. Вихідний вал 16, що встановлений на підшипниках 17 і 18, розміщених в корпусі підшипників 19, з'єднаного з корпусом 5 передавального механізму, та на підшипниках 20, розміщених на внутрішній поверхні другої піввісі 21, передає обертальний рух приводному диску 22, кільцю 23. Від кільця 23 корпус барабана 1, з улаштованими на ньому різцями 2, отримує обертальний рух для здійснення процесу подрібнення. Робоча рідина, що втратила енергію, через зливний трубопровід 27, через осьовий канал 25 надходить на злив.

Висновки

Зазначено важливість розробки ефективних конструкцій подрібнювачів деревинних матеріалів, як засобу отримання альтернативних джерел енергії для промисловості та населення.

Проаналізувавши відомі технічні рішення подрібнювачів, виділено характерні ознаки цього об'єкта, що дозволило провести їхню систематизацію, користуючись методами системного аналізу. В результаті виконаного системного аналізу конструкцій подрібнювачів за конструктивними, технологічними, економічними і дизайнерськими параметрами виділено основні елементи параметричного простору у вигляді об'ємної матриці.

На етапі створення нової конструкції аналізувались тільки конструктивні параметри, які є власними цьому етапу розробки. Визначено етапи деталізації, що відображають підпорядкованість параметричного простору, за якими виконувалось дослідження. В результаті розроблена класифікація подрібнювачів, яка дозволяє правильно оцінити загальні тенденції в створенні подрібнювачів, визначити шляхи створення нових розробок і вдосконалення наявних, а також розробити алгоритм їхнього проектування.

За використання запропонованого системного підходу розроблена нова конструкція подрібнювача з вмонтованим гідроприводом, яка дозволяє підвищити якість виготовлених пелет за рахунок поліпшення параметрів процесу вторинного подрібнення деревних матеріалів та забезпечення стабільності розмірів подрібнених фракцій.

Дослідження виконано за підтримки гранту Національного фонду досліджень України 2022.01/0135.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Кабінет міністрів України. (2017, серп. 18). Розпорядження № 605-р, *Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/npas/250250456>.

[2] V. Hubka, and W. E. Eder, "Theory of Technical Systems: A Total Concept Theory for Engineering Design," Springer Science & Business Media, 2012, 278 p.

[3] Л. К. Поліщук, і О. О Адлер, «Системне проектування мотор-барабанів транспортних пристроїв», *Наукові нотатки*, вип. 18, с. 291-301, 2006.

[4] D. F. Graveman, and S. B. Storm, "Hammer-type Shredder with Air Deflector," *US Patent Appl. 4720051 A: A61K 6/027*, Jan. 19, 1988.

- [5] T. R. Gross, "Shredder with side discharge," *US Patent Appl. 9308533 B2*, Apr. 12, 2016.
- [6] J. D. Bradley, E. N. Galloway, J. L. O'Halloran, and J. J. Humpal, "Wood chipper feed roller," *US Patent Appl. 8567706 B2*, Oct. 29, 2013.
- [7] L. E. Koenig, "Dual Auger Shredder," *US Patent Appl. 4993649 A*, Feb. 19, 1991.
- [8] P. Roessler, "Comminution Machine," *US Patent Appl. 7575186 B2*, Aug. 18, 2009.
- [9] Л. К. Поліщук, В. П. Міськов, В. О. Кравчук, і Д. О. Продан, «Подрібнювач деревинних відходів,» *Патент України B02C 17/00. № 140258 МПК(2020.01)*, 10.02.2020.
- [10] Л. К. Поліщук, *Динаміка вмонтованого гідроприводу конвеєрів мобільних машин*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2018.
- [11] Л. К. Поліщук, Р. М. Гулевич, О. О. Адлер, і В. О. Коробка, «Подрібнювач деревинних відходів,» *Патент України B02C 17/00. № 156733 МПК(2024.01)*, 31.07.2024.

Рекомендована кафедрою галузевого машинобудування ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 26.10.2024

Поліщук Леонід Клавдійович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри галузевого машинобудування, e-mail: leo.polishchuk@gmail.com ;

Гулевич Руслан Михайлович — аспірант кафедри галузевого машинобудування, e-mail: goruslan98@gmail.com ;

Шенфельд Валерій Йосипович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування e-mail: leravntu@gmail.com ;

Чубур Сергій Олександрович — студент факультету машинобудування та транспорту, e-mail: serhichubur15@gmail.com ;

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

L. K. Polishchuk¹
R. M. Gulevych¹
V. Yo. Shenfeld¹
S. O. Chubur¹

Systematic Approach to the Design of Rotary Croppers of Wooden Materials

¹Vinnitsia National Technical University

The importance of the development of effective designs of shredders of wood materials as a means of obtaining alternative sources of energy for industry and the population is indicated. The requirements for the devices used for the secondary grinding of wood materials, which relate to the size and homogeneity of the fraction of the crushed material, are given.

The conducted analysis of known technical solutions of shredders made it possible to highlight the characteristic features of this design object, enabling to systematize them using the methods of system analysis. As a result of its implementation according to constructive, technological, economic and design parameters, main elements of the parametric space were selected in the form of a volumetric matrix.

At the stage of creating a new design of a wood waste shredder, only the structural parameters that are typical for such work were analyzed. The stages of detailing, reflecting the subordination of the parametric space, according to which the research was carried out, were determined. As a result of the study of the parametric space of the studied object, according to such stages of detailing as universality, mechanization, type, variety, structure, characteristics of the structure, mode of operation, a classification of shredders was developed, which enables to correctly assess the general trends in the creation of shredders, to determine the ways of creating new developments and improvement of the existing ones, as well as to develop an algorithm for their design.

Using the proposed system approach, which made it possible to perform a purposeful search for a new technical solution with predetermined properties, a new shredder design was developed. It is characterized by high gear ratios and significant rigidity of the structure due to the smaller dimensions of the transmission mechanism, small radial dimensions of the drum, which is provided by the design of the collapsible support element, which allows you to arrange the hydraulic motor and the transmission mechanism in the middle, coaxially with the drum body. This design of the shredder allows to ensure high-quality indicators of secondary grinding of wood materials, from which pellets are made, with a high calorific value.

Keywords: rotary shredders, wood materials, system approach, classification, design, built-in hydraulic drive.

Polishchuk Leonid K. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Industrial Engineering, e-mail: leo.polishchuk@gmail.com ;

Hulevych Ruslan M. — Post-Graduate Student, of the Chair of Industrial Engineering, e-mail: goruslan98@gmail.com ;

Shenfeld Valerii Yo. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Industrial Engineering, e-mail: leravntu@gmail.com ;

Chubur Serhii O. — Student of the Department of Mechanical Engineering and Transport, e-mail: serhichubur15@gmail.com