

ШЛЯХИ ВИКОРИСТАННЯ ДЕРЕВНОГО ПИЛУ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПЕРЕХОДУ ВІД КОНЦЕПЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ДО РЕГЕНЕРАТИВНОГО ПІДХОДУ

Анотація

У роботі розглянуто основні напрями використання деревного пилу як вторинного ресурсу деревообробної промисловості в умовах переходу до регенеративної економіки. Проаналізовано екологічні та економічні аспекти утворення деревного пилу, його фізико-хімічні властивості та перспективи застосування у будівельній, енергетичній, хімічній і сільськогосподарській галузях. Досліджено вплив дисперсності пилу на технологічні властивості матеріалів і процесів. Встановлено, що раціональне використання деревного пилу дозволяє зменшити навантаження на довкілля, скоротити обсяги відходів та забезпечити ресурсозбереження. Особливу увагу приділено можливості виробництва біопалива, деревно-полімерних композитів та легких будівельних матеріалів із використанням деревного пилу.

Ключові слова: деревний пил, регенеративний розвиток, деревообробна промисловість, охорона праці, екологічна безпека.

Вступ

Сучасний розвиток деревообробної промисловості супроводжується значним утворенням деревного пилу, який часто розглядається як відхід виробництва. Водночас світові тенденції розвитку циркулярної економіки та регенеративного підходу вимагають переходу до повторного використання ресурсів і мінімізації негативного впливу на довкілля. Саме тому актуальним є пошук ефективних напрямів використання деревного пилу як цінної вторинної сировини. [1-3]

Концепція сталого розвитку передбачає забезпечення балансу між економічними, соціальними та екологічними аспектами діяльності людини. Регенеративний підхід, на відміну від сталого розвитку, орієнтований не лише на зменшення негативного впливу, а й на відновлення природних систем та створення позитивного екологічного ефекту. У цьому контексті використання деревного пилу набуває особливого значення.

Основні відмінності сталого та регенеративного розвитку

Сталий розвиток спрямований на задоволення потреб сучасного покоління без шкоди для майбутніх поколінь. Основною його метою є забезпечення раціонального використання ресурсів і зниження рівня екологічного навантаження.

Регенеративний розвиток передбачає відновлення природних екосистем, повторне використання ресурсів та інтеграцію виробничих процесів у природні цикли. У рамках цього підходу відходи розглядаються як ресурс, придатний для подальшого використання.

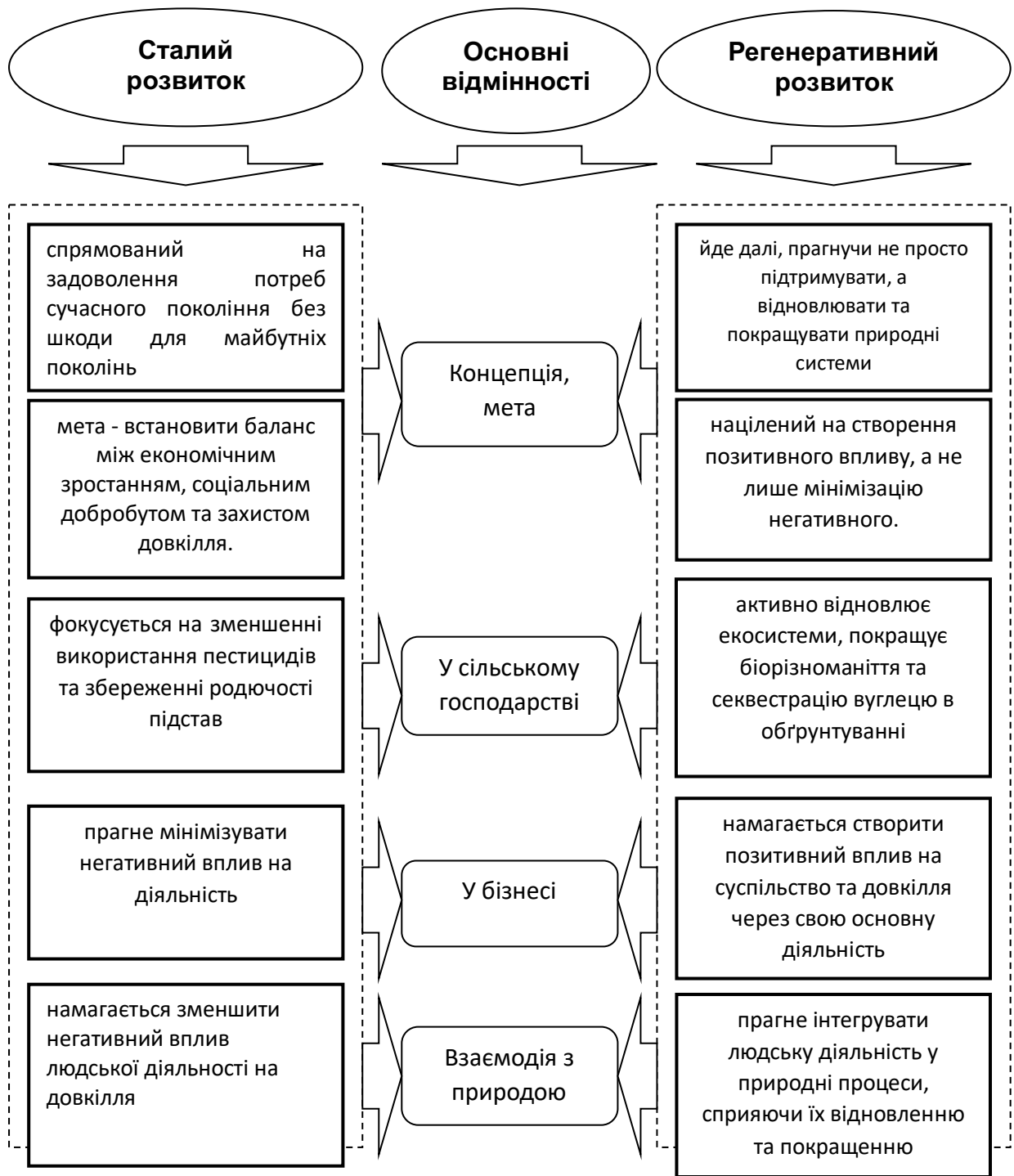


Рис. 1. Порівняльний аналіз концепцій сталого та регенеративного розвитку

Проблеми утворення та утилізації деревного пилу

Деревний пил є одним із найбільш поширених відходів деревообробної промисловості. Основними джерелами його утворення є процеси розпилювання, шліфування та подрібнення деревини. За даними досліджень, до 10 % обробленої деревини перетворюється у пил.

Накопичення деревного пилу створює низку екологічних і виробничих проблем:

- забруднення атмосферного повітря;
- погіршення умов праці;
- ризик виникнення пожеж та вибухів;
- негативний вплив на здоров'я працівників;
- забруднення ґрунтів та водних ресурсів.

Особливо небезпечним є дрібнодисперсний пил, який здатний проникати у дихальні шляхи людини та викликати респіраторні захворювання.

Фізико-хімічні властивості деревного пилу

Деревний пил характеризується низкою фізико-хімічних властивостей, які визначають можливості його подальшого використання. [3] До основних характеристик належать:

- дисперсність;
 - вологість;
 - щільність;
 - хімічний склад;
 - адсорбційні властивості.
- Таблиця 1. Значення фізико-хімічних властивостей деревного пилу

Властивість	Опис
Дисперсність	Розмір частинок деревного пилу варіюється від мікрона до кількох міліметрів. Чим менший розмір частинок, тим більша їхня поверхнева площа.
Хімічний склад	Залежить від виду деревини; основні компоненти: целюлоза (40-50%), лігнін (20-30%), геміцелюлоза (20-30%).
Вологість	Вміст води впливає на фізичні властивості пилу і його схоронність. загальновологість становить 8-15%.
Щільність	Щільність деревного пилу виробляється в межах 0,1-0,5 г/см ³ залежно від породи дерева та способу обробки.
Адсорбційні властивості	Деревний пил має високу адсорбційну здатність, що робить його корисним у фільтраційних процесах.

Дисперсність пилу є однією з найважливіших характеристик, оскільки саме вона визначає можливість використання пилу у будівельних матеріалах, паливних гранулах та фільтраційних системах.

Таблиця 2. Вплив дисперсності на сприйняття та використання

Розмір частинок (мкм)	Опис	Використання
< 2,5	Ультрадрібні частини, небезпечні для дихальної системи	Фільтрація, медичне застосування
2,5 - 10	Дрібнодисперсні частинки, можуть впливати на здоров'я людини	Будівельні матеріали
> 10	Грубодисперсні частини, менш небезпечні	Наповнювачі в будівництві

Використання деревного пилу у будівельній галузі

Одним із найбільш перспективних напрямів є використання деревного пилу у виробництві будівельних матеріалів. [1, 5] Деревний пил застосовується як наповнювач у:

- деревно-полімерних композитах;
- бетонних сумішах;
- деревостружкових плитах;
- теплоізоляційних матеріалах.

Використання дрібнодисперсного пилу у складі деревно-полімерних композитів забезпечує покращення механічних характеристик матеріалу, зменшення пористості та підвищення міцності.

Таблиця 3. Вплив дисперсності пилу на міцність та еластичність композитів

Розмір частинок пилу	Міцність (МПа)	Еластичність (МПа)
< 0,5 мм	30	2000
0,5 - 1,0 мм	25	1800
> 1,0 мм	20	1600

Додавання деревного пилу до бетону дозволяє зменшити густину матеріалу та покращити його теплоізоляційні властивості. Встановлено, що заміщення до 20 % піску деревним пилом не спричиняє суттєвого зниження міцності бетону.

Таблиця 4. Порівняння ДПК з традиційними матеріалами

Параметр	Деревно-полімерні композити (ДПК)	Традиційні матеріали
Екологічність	Висока	Залежить від матеріалу
Довговічність	Висока	Середня
Обробка	Легка	Може вимагати спеціальних інструментів
Теплоізоляція	Добра	Залежить від матеріалу
Стійкість до шкідників	Так	Ні
Вартість	звичайно вище	звичайно нижче

Використання деревного пилу для виробництва біопалива

Важливим напрямом утилізації деревного пилу є виробництво пелет та паливних брикетів. [4] Біопаливо з деревного пилу характеризується:

- високою теплотворною здатністю;
- екологічністю;
- відновлюваністю;
- економічною ефективністю.

Менший розмір частинок забезпечує більш рівномірне згоряння та підвищення теплотворної здатності пелет.

Таблиця 5. Вплив дисперсності на теплотворну здатність пелет

Розмір часток (мм)	Теплотворна здатність (ккал/кг)
< 0,5	4500
0,5 - 1,0	4200
> 1,0	4000

Використання біопалива з деревного пилу дозволяє значно скоротити викиди парникових газів та зменшити залежність від викопного палива.

Таблиця 6. Переваги біопалива з деревного пилу

Перевага	Описання суті
Екологічність	Змінення викидів парникових газів та забрудничих речовин
Відновлюваність	Використання вторинних сировини з дерева
Енергетична ефективність	Висока теплотворна здатність пелет і брикетів
Легкість у використанні	Стандартна форма і розмір полегшують транспортування та зберігання
Економічність	Нижча вартість у порівнянні з традиційними видами пального
Зменшення відходів	Утилізація відходів деревообробної промисловості

Використання деревного пилу у сільському господарстві

У сільському господарстві деревний пил може використовуватися:

- як органічна добавка до ґрунту;
- для мульчування;
- у виробництві компостів;
- як компонент кормових сумішей.

Деревний пил покращує структуру ґрунту, підвищує вологоутримуючу здатність та сприяє розвитку мікроорганізмів.

Таблиця 7. Переваги використання деревного пилу як добрива

Переваги використання деревного пилу як добрива	Опис
Покращення структури обґрунтовано	Деревний пил розпушити ґрунт, покращуючи його аерацію.
Утримання вологи	Пил здатний утримувати вологу, що особливо важливо в посушливих умовах.
Збагачення органікою	Деревний пил є джерелом органічних речовин, які сприяють розвитку мікроорганізмів у підставі.

Також встановлено, що дрібнодисперсний пил швидше розкладається та ефективніше засвоюється ґрунтовими мікроорганізмами.

Таблиця 8. Вплив дисперсності пилу на швидкість розкладання

Розмір часток (мм)	Швидкість розкладання (днів)
< 0,5	30
0,5 - 1,0	45
> 1,0	60

Інноваційні напрями використання деревного пилу

Перспективним напрямом є використання ультрадисперсного деревного пилу у нанотехнологіях та фільтраційних системах. На його основі можуть створюватися:

- нанокompозити;

- фільтрувальні елементи;
- екологічні матеріали нового покоління.

Наноматеріали, створені з використанням деревного пилу, характеризуються підвищеною міцністю, теплопровідністю та довговічністю. [5]

Розмір часток і їх дисперсність суттєво впливають на властивості матеріалів. наприклад: зменшення розміру часток може призвести до підвищення міцності та жорсткості матеріалу; теплопровідність : наноматеріали часто мають покращену теплопровідність у порівнянні з макроскопічними аналогами.

Таблиця 9. Порівняльний аналіз

Властивість	Наноматеріали	Макроскопічні матеріали
Міцність	Вища	Нижча
Теплопровідність	Вища	Нижча
Гладкість	Вища	Нижча

Фільтраційні системи також виграють з використанням пилу для виготовлення фільтрувальних елементів. Дрібнодисперсний пил має важливе значення в цій галузі. Використання пилу для виготовлення фільтрувальних елементів. Дрібнодисперсний пил може бути використаний для створення фільтрів, які забезпечують:

- Високу ефективність очищення : Здатність утримувати навіть найменші частинки забруднень.
- Довговічність : Зменшена ймовірність забруднення фільтрів завдяки високій площі поверхні.

У промислових системах вентиляції дрібнодисперсний пил забезпечує:

Покращену якість повітря : Фільтри здатні затримувати алергени, пил та інші забруднювачі. Завдяки зниженню опору повітря в системах вентиляції.

Таблиця 10. Порівняльний аналіз

Параметр	Фільтри з дрібнодисперсним пилом	Звичайні фільтри
Ефективність	Вища	Нижча
Тривалість служби	Довша	Коротша
Вартість	Вища	Нижча

Інноваційне використання нанотехнологій і фільтраційних систем відкриває нові можливості для підвищення якості продукції в різних галузях. Використання ультрадисперсного пилу сприяє створенню новітніх матеріалів з унікальними властивостями, а також ефективність фільтраційних систем, що є аспектом забезпечення чистоти повітря та здоров'я людей.

Висновки

Деревний пил є перспективною вторинною сировиною, яка може широко використовуватись у різних галузях промисловості та сільського господарства. Раціональне використання деревного пилу сприяє:

- зменшенню кількості відходів;
- зниженню екологічного навантаження;
- ресурсозбереженню;
- розвитку циркулярної економіки;
- впровадженню принципів регенеративного розвитку.

Використання деревного пилу у виробництві будівельних матеріалів, біопалива та композитів відкриває нові можливості для розвитку екологічно безпечних технологій та забезпечення сталого розвитку деревообробної промисловості.

Використані джерела

1. Повзун О. І., Подкопаєв С. В., Вірич С. О. Горячева Т. В., Дорох С. Г. Утилізація відходів полімерного та лісохімічного виробництва у дорожньому будівництві. Екологічна безпека. 2016. № 2(22). С. 102-111.
2. Yao Z. T., Ji X. S., Sarker P. K., Tang J. H., Ge L. Q., Xia M. S., Xi. Y. Q. A comprehensive review on the applications of coal fly ash. *Earth-Science Reviews*. 2015. Vol. 141. P. 105–121.
3. Blissett R.S., Rowson N.A. A review of the multicomponent utilisation of coal fly ash. *Fuel*. 2012. Vol. 97. P. 1–23.
4. Sett R. Flyash: characteristics, problems and possible utilization. *Advances in Applied Science Research*. 2017. Vol. 8 (3). P. 32–50.
5. Hosovskyi R., Kindzera D., Atamanyuk V. Diffusive mass transfer during drying of grinded sunflower stalks. *Chemistry & Chemical Technology*. 2016. Vol. 10(4), P. 459–464.