

## РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА АКТИВОВАНОГО ВУГІЛЛЯ З КОСТРИЦІ ЛЬОНУ ТЕРМОЛІЗНО-ІМПУЛЬСНИМ МЕТОДОМ

Бергер Є., канд. техн. наук, доц.,

<https://orcid.org/0000-0002-5494-0247>, e-mail: [djekson1961@gmail.com](mailto:djekson1961@gmail.com)

Херсонський національний технічний університет

Лілевман І.,

<https://orcid.org/0000-0002-3123-5684>, e-mail: [igorlilevman@ukr.net](mailto:igorlilevman@ukr.net),

Лілевман О., <https://orcid.org/0000-0003-1316-1674>, e-mail: [lilevman60@gmail.com](mailto:lilevman60@gmail.com)

Південно-Українська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

### Анотація

**Мета досліджень.** Розробити технологію та дослідно-промислову установку для виробництва активованого вугілля термолізно-імпульсним методом з нетрадиційного для цього джерела сировини – костриці льону.

**Методи досліджень.** Аналіз хімічного складу костриці льону, а також сучасного рівня її використання; розкриття процесу активації і дослідження пористої структури сорбентів; вибір оптимального методу і режимів активації вуглецевмісних матеріалів; розгляд способів активації і дослідження механізму цієї реакції; аналіз сучасного обладнання, проектування та вибір устаткування, яке найбільш ефективно в умовах льонозаводів України; визначення енергетичного балансу імпульсної установки; побудова математичної моделі процесу; складення програми для комп'ютерного визначення коефіцієнтів регресії і на основі виконаних розрахунків розроблення номограм для графічного визначення параметрів технологічного процесу; дослідження впливу технологічних факторів на фізико-хімічні характеристики одержаного активованого вугілля запропонованою технологією та імпульсної установки, яка її реалізує.

**Результати.** В результаті проведених досліджень:

- розроблена технологія та дослідно-промислова установка для виробництва активованого вугілля термолізно-імпульсним методом з нетрадиційного для цього джерела сировини – костриці льону;

- запропоновані оптимальні технологічні режими процесу активації;

- створена математична модель процесу і розроблені номограми для визначення і прогнозу кінцевих характеристик сорбентів за вхідними параметрами технологічного режиму.

Очікуваний економічний ефект за перший рік впровадження установки термолізно-імпульсного типу для переробки костриці льону в сорбенти досягає 2030765 грн. (у цінах 2020 року). Термін окупності впровадженої установки складає 2,5 місяців.

**Висновки.** Використовуючи результати досліджень, розроблену технологію та дослідно-промислову установку, можна проводити активацію деревного вугілля з костриці льону термолізно-імпульсним методом та обрати оптимальні параметри процесу в заданих температурних та часових межах.

Одержане активоване вугілля застосовне для поглинання відносно крупних молекул або мікросуспензій з рідинних середовищ.

На підставі досліджених матеріалів цієї роботи доцільно рекомендувати запроповану промислову технологічну схему процесу термолізно-імпульсної переробки костриці льону в сорбенти.

**Ключові слова:** термолізна переробка, технологія, костриця льону, деревне вугілля, активоване вугілля, установка імпульсного типу.

**Вступ.** Аналіз роботи розвинутих капіталістичних країн зі збирання та переробки вторинних ресурсів, порівняно з аналогічною роботою на Україні показує, що наявні об'єми переробки відходів виробництва та темпи їхнього зростання в нашій країні не відповідають сучасним вимогам розвитку науки і техніки [Закон про відходи, 1998]. Суттєві недоліки у використанні відходів виробництва є також і в галузі первинної переробки лубоволокнистої сировини. Відходами виробництва в цій галузі є так звана костриця – здеревілі частини стебел прядильних рослин (льону, коноплі, кенафу, кендірю).

Кострицю використовують як паливо для вироблення теплової та електричної енергії, добрив сільськогосподарських культур, виробництва будівельних виробів та термоізоляційних матеріалів. Костриця, а також низькосортне коротке волокно, найбільш придатні для виготовлення целюлози та напівцелюлози, які використовуються у виробництві паперу та картону. Отриманий з костриці сорбент придатний для очищення води, олії і повітря. З костриці можна отримувати активоване вугілля, оскільки у таких сорбентів важливу роль відіграє морфологічна структура вихідних рослинних продуктів [Перепечаев А. Н., и др., 2018].

Згідно з даними корпорації КП «Укрльоноконоплепром», вільні залишки костриці за рік, залежно від потужності заводу, кількості сировини, яка перероблюється, та власної потреби у костриці, складають (4-15) тис. т. За таких умов ступінь використання відходів виробництва, як вторинної сировини, складає 12-15 % від загальної маси відходів. Однак ці показники не в повній мірі відображають стан проблеми, бо ці відходи, що мають багату хімічну структуру, часто використовуються нерационально. [Бергер Є. Е., 1997, Березовський Ю. В., 2017].

Аналізуючи склад костриці (целюлоза 44-46 %, лігнін 26-30 %, пентозами 21-26 %, пектинові речовини 2-3 %), можна зазначити, що він близький до складу листяних порід деревини, внаслідок чого кострицю

можна використовувати в технологічних процесах виробництва різноманітних матеріалів (костроплити, кормові дріжджі, спирти, активне вугілля, папір тощо). Між тим, на сьогоднішній день недостатньо науково обґрунтованих ефективних технологій і обладнання для утилізації костриці з урахуванням специфіки роботи льонозаводів [Чурсина Л. А. и др., 1996].

Створення технологій переробки костриці обумовлено не лише економічними, але й екологічними вимогами до сучасного виробництва. Тому ця робота, яка присвячена науковому обґрунтуванню та розробці технологій термолізної переробки костриці льону, є актуальною.

Проведений аналіз сучасних розробок за типами сировини і способами їхньої активації показує, що для костриці, як бази для виробництва сорбентів, небагато досліджень основних факторів та параметрів обробки [Бергер Є. Е., 1997].

Виходячи з цього, сформульовано мету роботи і визначені завдання для досягнення поставленої мети.

**Мета науково-дослідної роботи** полягала в тому, щоб за результатами проведених досліджень розробити технологію та обладнання для виробництва активованого вугілля термолізно-імпульсним методом з нетрадиційного джерела сировини – костриці льону. Зважаючи на мету, до завдань її досягнення входило:

- дослідження факторів, які впливають на механізм процесу активації вугілля з костриці льону;
- розроблення і дослідження імпульсного методу активації деревного вугілля з костриці льону та розрахунок його матеріального і теплового балансу;
- розроблення обладнання для активації деревного вугілля імпульсним методом;
- дослідження фізико-хімічних властивостей активованого вугілля, одержаного за різних режимів активації;
- розроблення математичної моделі процесу та розрахунок його оптимальних параметрів нелінійними множинними регресіями;

- практична реалізація результатів досліджень;

- дослідження і вибір обладнання та оптимальних технологічних режимів виробництва активованого вугілля з костриці льону [Бергер].

**Методи і матеріали.** У ході виконання НДР були застосовані такі методи:

- аналіз хімічного складу костриці льону, а також сучасного рівня її використання;

- розкриття процесу активації і дослідження пористої структури сорбентів;

- вибір оптимального методу і режимів активації вуглецевмісних матеріалів;

- розгляд способів активації і дослідження механізму цієї реакції;

- аналіз сучасного обладнання, проектування та вибір устаткування, яке найбільш ефективно в умовах льонозаводів України;

- визначення енергетичного балансу імпульсної установки;

- побудови математичної моделі процесу;

- складення програми для комп'ютерного визначення коефіцієнтів регресій і на основі виконаних розрахунків розроблення номограм для графічного визначення параметрів технологічного процесу;

- дослідження впливу технологічних факторів на фізико-хімічні характеристики одержаного активованого вугілля запропонованою технологією та імпульсною установкою, яка її реалізує [Бергер].

**Результати.** З відомих методів активації найбільший інтерес викликає метод «киплячого» шару. «Киплячий» шар виникає, коли швидкість потоку повітря і газів крізь шар сировини перевищує швидкість, за якої зберігається стійкість щільного шару цієї сировини. Обертально-пульсний рух частинок сировини при цьому нагадує рух киплячої рідини, тому такий шар і називається «киплячим». Водночас газоповітряний потік не циркулює в шарі, а прямоточно продуває його. Основною характеристикою «киплячого» шару є збільшення його об'єму під час продування повітрям або збільшення

висоти порівняно з щільним шаром сировини. За нормального «кипіння» шар сировини збільшується в 1,5-3 рази порівняно з щільним шаром [Чурсина Л. А. и др., 1995].

У ретортах з «киплячим» шаром продукти, які активуються, і газу ґрунтовно перемішуються. За таких умов порівняно з печами інших конструкцій значно скорочується час активації [Бергер Є. Е. та ін, 2013].

На рисунку 1 показано схему дослідно-виробничої установки імпульсного типу, яка реалізує запропонований метод активації.

Установка являє собою реактор, встановлений з вогнестійкої шамотної цегли. Основними частинами реактора є завантажувальний пристрій, активаційна камера подібна до відсічного конуса з жаростійкої сталі, бункер-відокремлювач та бункер-охолоджувач.

Заданий температурний режим створюється згоранням газу в топці камерного типу з вогнестійкої шамотної цегли.

Активна парогазова сумішка утворюється в змішувачі змішуванням димових газів та водної пари. Зміна швидкості і температури парогазової сумішки в активаційній камері виконується регуляторами витрати пари і газів. За умовами експерименту температура активації змінювалась в межах 760-1000°C, час – від 5 с до 20 с. Внаслідок цього технологічні параметри дослідно-виробничої установки змінюються у межах:

- продуктивність деревного вугілля - 29-72 кг/г

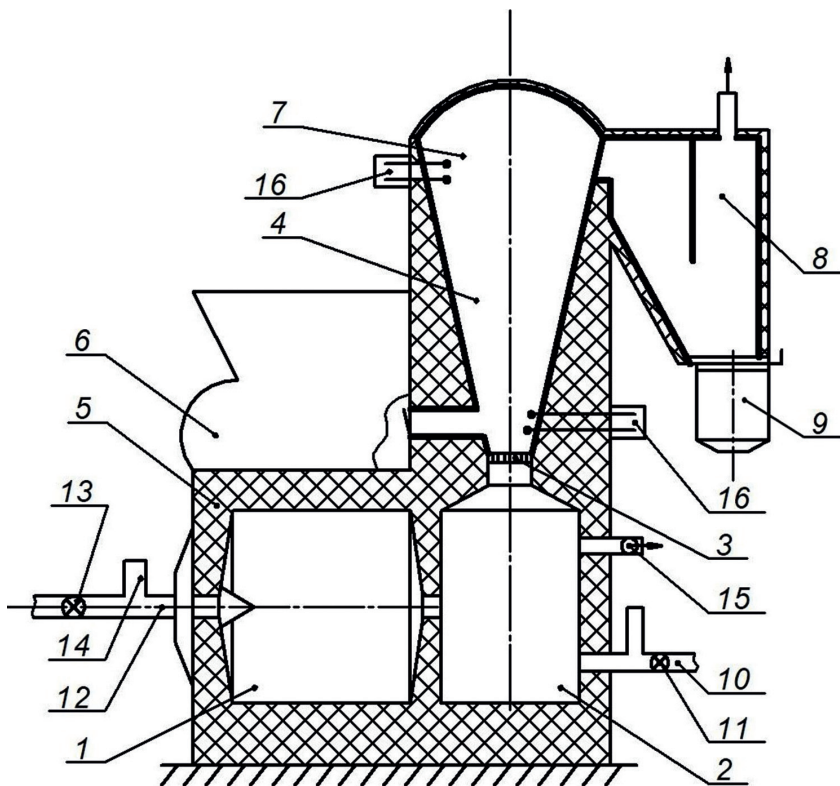
- продуктивність активованого вугілля - 7-34 кг/г

- температура в активаційній камері - 760-1000 °С

- швидкість парогазової сумішки витання часток на рівні їхнього завантаження - 0,71-0,84 м/с

- швидкість парогазової сумішки унесення часток на рівні їхнього завантаження - 2,18-2,5 м/с

- витрата парогазової сумішки - 54-180 м /ч



1 - топка; 2 - змішувач; 3 - колосникова решітка; 4 - активаційна камера; 5 - кладка з вогнестійкої цегли; 6 - завантажувальний пристрій; 7 - кришка; 8 - бункер-відокремлювач вугілля; 9 - бункер-охолоджувач; 10 - паропровід; 11 - регулятор витрати пари; 12 - газопровід; 13 - регулятор витрати газу; 14 - дросельний датчик витрати МДС 5-М; 15 - запобіжний клапан; 16 - термопара

**Рисунок 1** – Схема дослідно-промислової установки імпульсного типу

- витрата пари - 18-88 м/г
- витрата пального газу - 1-4 м /г

Для встановлення виробничих норм витрачання матеріалів та виходу продуктів, а також оцінки ступеня використання і розподілу тепла в установці імпульсного типу розрахований енергетичний баланс за такими вихідними даними:

- об'ємна витрата парогазової суміші - 54-180 м<sup>3</sup>/год
- температура парогазової суміші - 760-1000 °С
- температура пари у змішувачі - 100 °С
- газ, який спалюється - пропан (С3Н3)
- тип топки - камерна

Числові значення розрахунків теплового і матеріального балансу імпульсної установки наведені в таблиці 1.

На подальшому етапі було визначено два суттєвих фактори режиму активації (вхідні параметри):

- X<sub>j</sub>- тривалість активації, с;
- X<sub>g</sub>- температура активації, °С.

**Таблиця 1** – Числові значення розрахунків теплового і матеріального балансу імпульсної установки. Показники теплового та матеріального балансу

№ з/п	Показник	Температура, °С	Витрата парогазової суміші, м <sup>3</sup> /год	
			54	180
1	Ентальпія димових газів на виході з топки, I <sub>gr</sub> , кДж/м <sup>3</sup>	100	151	
2	Ентальпія пари, яка надходить у змішувач, I <sub>n</sub> , кДж/м <sup>3</sup>	760	3124,2	
		1000		
3	Ентальпія парогазової суміші, I <sub>nr</sub> , кДж/м <sup>3</sup>	760	1724	1743,8
		1000	2114,25	2115,38
4	Об'ємна витрата пари, V <sub>n</sub> , м <sup>3</sup> /год	760	25,5	87,7
		1000	18,34	61,06
5	Об'ємна витрата димових газів, V <sub>gr</sub> , м <sup>3</sup> /год	760	28,5	95,3
		1000	35,66	118,94
6	Витрата палива, V <sub>t</sub> , м <sup>3</sup> /год	760	0,94	3,22
		1000	1,2	4,02

Як результатні фактори досліджувалися (вихідні параметри):

$Y_0$  - вихід активованого вугілля, %;

$Y_1$  - адсорбційна активність за метиленовим голубим, мг/г;

$Y_2$  - адсорбційна активність за йодом, %;

$Y_3$  - адсорбційна активність за мела-сою, %;

Аналіз залежності вихідних факторів від часу активації і температури процесу показує їхню суттєву нелінійність. Тому для побудови математичної моделі процесу обрана множинна нелінійна регресія квадратичного вигляду:

$$Y = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_1^2 + A_3 X_2 + A_4 X_2^2 \quad (1)$$

За умови мінімальних відхилень експериментальних значень (суми квадратів відхилень) від апроксимувальної функції (1) складено системи рівнянь для визначення її коефіцієнтів, які вирішуються за методом Гаусса. Внаслідок залежності вихідних факторів  $Y_i$  від  $X_1$  та  $X_2$  одержані у вигляді:

$$Y_0 = 196,415 - 0,295 \cdot X_1 + 1,324 \cdot 10^{-4} \cdot X_1^2 - 0,178 \cdot X_2 - 1,68 \cdot 10^{-2} \cdot X_2^2 \quad (2)$$

$$Y_1 = -110,64 + 0,5748 \cdot X_1 - 2,5035 \cdot 10^{-4} \cdot X_1^2 + 1,1529 \cdot X_2 - 0,21 \cdot X_2^2 \quad (3)$$

$$Y_2 = -341,805 + 0,79835 \cdot X_1 - 3,786 \cdot 10^{-4} \cdot X_1^2 + 0,8297 \cdot X_2 - 2,4938 \cdot 10^{-4} \cdot X_2^2 \quad (4)$$

$$Y_3 = -657,068 + 1,542 \cdot X_1 - 8,017 \cdot 10^{-4} \cdot X_1^2 + 0,8544 \cdot X_2 - 1,3497 \cdot 10^{-2} \cdot X_2^2 \quad (5)$$

Складено програми для комп'ютерного визначення коефіцієнтів регресій та для обчислювання функцій (2) - (5).

На основі виконаних розрахунків розроблено номограми для графічного визначення параметрів технологічного процесу. Висока

точність одержаних математичних залежностей прогнозує і дає оцінку впливу відхилень вхідних технологічних факторів на межі відхилень вихідних параметрів. В результаті одержана можливість вирішувати основну виробничу задачу: за заданими якісними характеристиками активованого вугілля визначити необхідні технологічні параметри процесу активації. Це дає змогу практично використовувати математичну модель для технологічних розрахунків у серійному та масовому виробництві активованого вугілля.

Згідно з основними завданнями роботи проведено дослідження впливу технологічних факторів на фізико-хімічні характеристики одержаного активованого вугілля, а також наведено опис запропонованої технології та імпульсної установки, яка її реалізує.

Експериментальні дослідження складаються з трьох етапів:

На першому етапі визначались аеродинамічні характеристики деревного вугілля з костриці льону, як вихідного матеріалу для активації [Шостак А. и др., 1995]. Результати експериментів наведені в таблиці 2.

На другому етапі визначені основні якісні характеристики активованого вугілля згідно зі стандартизованими методиками [ГОСТ 12596, ГОСТ 12597, ГОСТ 16190, ГОСТ 17219].

На третьому етапі одержані експериментальні дані з адсорбційної активності і відсотковому виході активованого вугілля. Абсорбційна активність визначалась згід-

**Таблиця 2 - Результати експериментів аеродинамічні характеристики деревного вугілля з костриці льону. Аеродинамічні характеристики деревного вугілля**

Показники	Фракції деревного вугілля		
	дрібна	велика	суміш
Швидкість витання частинок, м/с	0,71	0,84	0,80
Критична маса завантаженої порції деревного вугілля, кг	0,24	0,20	0,22
Критична концентрація завантаженого деревного вугілля, кг/м <sup>3</sup>	2,55	2,13	2,34
Швидкість віднесення частинок, м/с	2,18	2,50	2,38

но з [ГОСТ 4453 і ГОСТ 6217-71].

Викладено суть запропонованого імпульсного методу активації вугілля з костриці льону. Метод полягає в тому, що в розробленому технологічному процесі швидкість парогазової сумішки плавно змінюється від швидкості витання часток до швидкості їх унесення.

У завершальній частині роботи проведено виробничі випробування дослідно-промислової установки імпульсного типу за оптимальних режимів активації (температура 865 °С, час 12,5 с). Результати випробувань наведені в таблиці 3 [Бергер Є. Е., 1997].

Розрахунок економічної ефективності від впровадження нової технології переробки костриці льону в сорбенти на пропонуваній установці імпульсного типу дає очікуваний економічний ефект, що досягає 2030765 грн (у цінах 2020 року) за перший рік впровадження. Термін окупності впровадженої установки складає 2,5 місяців.

**Обговорення.** Аналіз сучасних виробництв активованого вугілля з костриці льону показує що:

- використання печей в умовах льонозаводів буде неефективним, тому що будівництво обертальних печей потребує

великих капіталовкладень, шахтні печі, які перероблюють кусковий матеріал, набагато знижують свого продуктивність через низьку густину деревного вугілля з костриці, багатополічні печі потребують для забезпечення своєї потужності дуже великих запасів костриці, яких не може забезпечити льонозавод;

- використання реакторів киплячого шару, порівняно з печами інших конструкцій, значно скорочує час активації, але нагрівання реактора викликає значні утруднення, тому що висока температура газів, що необхідна для процесу активації, може привести до спікання часток попелу. Осаджуючись на розподільній решітці, ці частки захаращують і забивають її, що порушує рівномірне проходження газового потоку і може привести до неоднорідності «кипіння» шару;

- використання струминних реакторів та шнекових установок було б найбільш раціональним, але габарити струминного реактора (висота 15-20 м) створюють певні труднощі у його виготовленні. У шнекових установок активаційна камера розроблена без врахування того, що вугіль-сирець з костриці є слабко сипким матеріалом, що створює умови виникнення пробок і може привести до зупинки

**Таблиця 3 – Результати виробничих випробувань дослідно-промислової установки імпульсного типу за оптимальних режимів активації**  
**Порівнювальна характеристика сорбентів**

Показник	Позначення НД	Значення показника	
		за вимогою НД	вугілля активованого з льону (за результатами випробувань дослідно-промислової установки)
Сумарний об'єм пор за водою, см /г	[ГОСТ 17219]	0,6-1,6	1,34
Масова частка вологи, % не більше	[ГОСТ 12597]	5-10	5
Масова частка золи, % не більше	[ГОСТ 12596]	6-10	7
Насипна щільність, г/дм <sup>3</sup> не більше	[ГОСТ 16190]	240	131
Адсорбційна активність за метиловим синім, мг/г не менше	[ГОСТ 4453]	210 -225	210
Адсорбційна активність за йодом, % не менше	[ГОСТ 6217]	30 -70	75
Адсорбційна активність за меласою, % не менше	[ГОСТ 4453]	50-100	85

обладнання.

Проведений авторами інформаційний пошук показує, що вкрай недостатньо сучасних наукових досліджень та промислових розробок щодо способів оптимізації технології активізації вугілля з костриці льону як бази для виробництва сорбентів.

Новизна та актуальність роботи полягає в запропонованій конструкції дослідно-промислової установки термолізно-імпульсного типу та технологічних параметрах активації у виваженому шарі деревного вугілля з урахуванням його фізико-хімічної будови.

**Висновки.** Використовуючи результати досліджень, розроблену технологію та дослідно-промислову установку, можна проводити активацію деревного вугілля з костриці льону термолізно-імпульсним методом та обрати оптимальні параметри процесу в заданих температурних та часових межах.

Одержане активоване вугілля застосовне для поглинання відносно крупних молекул або мікросуспензій з рідинних середовищ.

На підставі досліджених матеріалів цієї роботи доцільно рекомендувати запропоновану промислову технологічну схему процесу термолізно-імпульсної переробки костриці льону в сорбенти.

### Перелік літератури

Бергер Є. Е. (1997) Наукове обґрунтування і розробка технології термолісної переробки костриці льону : Автореферат на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, , Херсон, 23 с.

Бергер Є, Лілевман І, Подольський М. (2013) Розроблення технології термолісної переробки костриці льону. Науково-виробничий журнал Техніка і технології АПК, 2 (41), 31-35.

Березовський Ю. В. Технічні рішення процесу переробки лляної сировини. ISSN 1815-2066. Nauka innov. 2017, 13(3): 25—37. DOI. 10.15407/scin13.03.025.

ГОСТ 4453-74 Уголь активный освет-

ляющий древесный порошкообразный. Технические условия.

ГОСТ 6217-74 Уголь активный древесный дробленый. Технические условия.

ГОСТ 12596-67 Угли активные. Метод определения массовой доли золы.

ГОСТ 12597-67 Сорбенты. Метод определения массовой доли воды в активных углях и катализаторах на их основе.

ГОСТ 16190-70 Сорбенты. Метод определения насыпной плотности.

ГОСТ 17219-71 Угли активные. Метод определения суммарного объема пор по воде.

Закон України про відходи. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1998, № 36-37, с. 242.

Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 р. КМУ від 08.11. 2017 р. № 820-р, Київ.

Перепечаев А. Н., Карпунин В. И., Чеботарев В. П., Чечеткин А. Д. Технологии углубленной переработки костры и низкосортного короткого волокна на льнозаводе. 2018. Сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Минск: БГАТУ, с. 154-157.

Чурсина Л. А., Антонов С. И., Бергер Е. Э. (1995). Активирование угля в роторах с «кипящим слоем», Сб. науч. трудов Ресурсосберегающие технологии в первичной обработке натуральных волокон, Киев, УКРНИИТЭЙ, с. 17-19.

Чурсина Л. А., Клевцов К. Н., Бергер Е. Э. (1996). Основные направления научных исследований в области первичной обработки волокнистых материалов, Учеб. пособие., Киев, УМК, 86.

Чурсина Л. А., Клевцов К. Н., Бергер Е. Э., Шостак А. Я. (1995). Основы термолісної утилізації костриці льна і конопли, Сб. науч. трудов Научный прогресс в производстве натуральных волокон, Киев, Министерство экономики Украины, ЦБТИ легкой и текстильной промышленности. с. 21-22.

Шостак А. Я., Чурсина Л. А., Антонов С. И., Бергер, Е. Э. (1995). Определение аэродинамических характеристик угля-сырца при активации в реакторах

«кипящего слоя», Сб. науч. трудов, Киев, Министерство экономики Украины. ЦБТИ легкой и текстильной промышленности, с. 18-19.

### References

Berezovsky Yu. V., Technical solutions of flax processing process. ISSN 1815-2066. Inna science. 2017, 13 (3): 25–37. DOI. 10.15407 / scin13.03.025.

Berger Ye (1997) Scientific substantiation and development of technology of thermolysis processing of flax fire: Abstract for obtaining the degree of candidate of technical sciences, Kherson, 23 p.

Berger Ye, Lilevman I, Podolsky M. (2013) Development of technology for thermolysis processing of flax fire. Research and Production Journal of Engineering and Technology of Agriculture, 2 (41), 31-35.

Chursina L. A., Antonov S. I., Berger E. E. (1995). Activation of coal in rotary fluidized bed rotors, Coll. Scientific Papers Resource-saving technologies in the primary processing of natural fibers, Kiev, UKRNIITEY, p. 17-19.

Chursina L. A., Klevtsov K. N., Berger E. E. (1996). The main directions of scientific research in the field of primary processing of fibrous materials, Textbook. allowance., Kiev, UMK, 86.

Chursina L. A., Klevtsov K. N., Berger E. E., Shostak A. Ya. (1995). Fundamentals of thermolysis utilization of flax and hemp fire, Sb. scientific Proceedings Scientific progress in the production of natural fibers, Kiev, Ministry of Economy of Ukraine, CBTI light and textile industry. p .21-22.

GOST 12596-67 Activated carbon. Method for determining the mass fraction of ash.

GOST 12597-67 Sorbents. Method for determining the mass fraction of water in activated carbons and catalysts based on them.

GOST 16190-70 Sorbents. Bulk density determination method.

GOST 17219-71 Activated carbon. The method of determining the total pore volume of water.

GOST 4453-74 Activated charcoal powder. Technical conditions.

GOST 6217-74 Crushed activated carbon. Technical conditions.

Law of Ukraine on Waste. Information of the Verkhovna Rada of Ukraine (VVR), 1998, № 36-37, p. 242.

National strategy for waste management in Ukraine until 2030 CMU from 08.11. 2017 № 820-r, Kyiv.

Perepechaev A. N., Karpunin V. I., Chebotarev V. P., Chechetkin A. D. Technologies of in-depth processing of fire and low-grade short fiber at a flax plant. 2018. Collection of scientific articles of the International scientific-practical conference, Minsk: BGATU, p. 154-157.

Shostak A. Ya., Chursina L. A., Antonov S. I., Berger, E. E. (1995). Determination of aerodynamic characteristics of raw coal during activation in «fluidized bed» reactors, Coll. Scientific Papers, Kyiv, Ministry of Economy of Ukraine. CBTI of light and textile industry, p. 18-19.



UDC 633.521:631.17.001.4

## DEVELOPMENT OF ACTIVATED CARBON PRODUCTION TECHNOLOGY FROM A FLAX STALKS BY A THERMOLYSIS-IMPULSE METHOD

**Berger E.**, Cand. Tech. Scs., associate professor,  
<https://orcid.org/0000-0002-5494-0247>, e-mail: [djekson1961@gmail.com](mailto:djekson1961@gmail.com)  
Kherson National Technical the university

**Lilevman I.**,  
<https://orcid.org/0000-0002-3123-5684>, e-mail: [igorlilevman@ukr.net](mailto:igorlilevman@ukr.net),

**Lilevman O.**,  
<https://orcid.org/0000-0003-1316-1674>, e-mail: [lilevman60@gmail.com](mailto:lilevman60@gmail.com).  
South-Ukrainian branch of L. Pogorelyy UkrNDIPVT

### Summary

**Purpose of the study** is to develop a technology and research and industrial plant for the production of activated carbon by thermolysis-impulse method from a non-traditional source of raw materials - flax stalks.

**Research methods.** Analysis of the chemical composition of flax fire, as well as the current level of its use; disclosure of the activation process and study of the porous structure of sorbents; selection of the optimal method and modes of activation of carbonaceous materials; consideration of methods of activation and study of the mechanism of this reaction; analysis of modern equipment, design and selection of equipment that is most effective in the conditions of flax plants of Ukraine; determination of energy balance of pulse installation; construction of a mathematical model of the process; drawing up a program for computer determination of regression coefficients and on the basis of performed calculations development of nomograms for graphical determination of technological process parameters; study of the influence of technological factors on the physico-chemical characteristics of the obtained activated carbon using the proposed technology and pulse installation that implements it.

**The results of the study.** As a result of research:

- developed technology and research and industrial installation for the production of activated carbon by thermolysis-impulse method from a non-traditional source of raw materials - flax stalks;
- the optimal technological modes of the activation process are proposed;
- the mathematical model of process is created and the nomograms for definition and the forecast of final characteristics of sorbents on input parameters of a technological mode are developed.

The expected economic effect for the first year of introduction of the thermolysis-impulse type installation for processing flax stalks into sorbents reaches UAH 2030765. (in 2020 prices). The payback period of the implemented installation is 2.5 months.

**Conclusions.** Using the research results, developed technology and research and industrial installation, it is possible to activate charcoal from flax stalks by thermolysis-impulse method and select the optimal process parameters within the specified temperature and time limits.

The obtained activated carbon is applicable for absorption of relatively large molecules or microsuspensions from liquid media.

On the basis of the researched materials of this work it is expedient to recommend the offered industrial technological scheme of process of thermolysis-impulse processing of a flax stalks in sorbents.

**Key words:** thermolysis processing, technology, flax fire, charcoal, activated carbon, pulse type installation.

УДК 633.521:631.17.001.4

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ ИЗ КОСТРЫ ЛЬНА ТЕРМОЛИЗНО-ИМПУЛЬСНЫМ МЕТОДОМ

**Бергер Е.**, канд. техн. наук, доц.,

<https://orcid.org/0000-0002-5494-0247>, e-mail: [djekson1961@gmail.com](mailto:djekson1961@gmail.com)

Херсонский национальный технический университет

**Лилевман И.**, <https://orcid.org/0000-0002-3123-5684>, e-mail: [igorlilevman@ukr.net](mailto:igorlilevman@ukr.net),

**Лилевман О.**, <https://orcid.org/0000-0003-1316-1674>, e-mail: [lilevman60@gmail.com](mailto:lilevman60@gmail.com),

Южно-Украинский филиал УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого

### **Аннотация**

**Цель исследований.** Разработать технологию и опытно-промышленную установку для производства активированного угля термолизно-импульсным методом из нетрадиционного для этого источника сырья – костры льна.

**Методы исследований.** Анализ химического состава костры льна, а также современного уровня ее использования; раскрытие процесса активации и исследования пористой структуры сорбентов; выбор оптимального метода и режимов активации углеродсодержащих материалов; рассмотрение способов активации и исследования механизма этой реакции; анализ современного оборудования, проектирование и выбор оборудования, наиболее эффективного в условиях льнозаводов Украины; определение энергетического баланса импульсной установки; построение математической модели процесса; составление программы для компьютерного определения коэффициентов регрессии и на основе выполненных расчетов разработка номограмм для графического определения параметров технологического процесса; исследование влияния технологических факторов на физико-химические характеристики полученного активированного угля с помощью предложенной технологии и реализующей ее импульсной установки.

**Результаты.** В результате проведенных исследований:

- разработана технология и опытно-промышленная установка для производства активированного угля термолизно-импульсным методом из нетрадиционного для этого источника сырья – костры льна;

- предложены оптимальные технологические режимы процесса активации;

- создана математическая модель процесса и разработаны номограммы для определения и прогноза конечных характеристик сорбентов по входным параметрам технологического режима.

Ожидаемый экономический эффект за первый год внедрения установки термолизно-импульсного типа для переработки костры льна в сорбенты достигает 2030765 грн. (в ценах 2020 г.). Срок окупаемости внедренной установки составляет 2,5 месяцев.

**Выводы.** Используя результаты исследований, разработанную технологию и опытно-промышленную установку можно проводить активацию древесного угля из костры льна термолизно-импульсным методом и выбрать оптимальные параметры процесса в заданных температурных и временных пределах.

Полученный активированный уголь применим для поглощения относительно крупных молекул или микросуспензий из жидкостных сред.

На основании исследованных материалов этой работы целесообразно рекомендовать предложенную промышленную технологическую схему процесса термолизно-импульсной переработки костры льна в сорбенты.

**Ключевые слова:** термолизная переработка, технология, костра льна, древесный уголь, активированный уголь, установка импульсного типа.