

Методика проведення лабораторних досліджень різання ґрунту деформатором з ріжучою кромкою на пневмоаккумуляторі

Микола Пристайло¹, Андрій Поліщук², Ігор Гонта³

^{1,2,3} Київський національний університет будівництва і архітектури
пр-т Повітряних Сил, 31, м.Київ, Україна, 03037

¹ prystailo.mo@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3151-4680>,

² polishchuk.ah@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4808-9932>,

³ honta_ip-2022@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0002-4441-8049>

Received 03.09.2025, accepted 29.10.2025

<https://doi.org/10.32347/st.2025.4.1302>

Анотація. У роботі наведено методику лабораторних досліджень процесу різання ґрунту деформатором із ріжучою кромкою, кінематично пов'язаною з пневмоаккумулятором. Як модель ґрунту застосовано парафін, який дозволяє оптично виявляти напружені зони за допомогою поляризаційного аналізу. Описано конструкцію лабораторної установки, деформатора та пневмоаккумулятора, послідовність підготовки парафінової моделі, методику проведення експериментів, а також алгоритм обробки експериментальних даних. Запропоновано узагальнені регресійні залежності для опису впливу глибини занурення, швидкості руху деформатора та тиску в пневмоаккумуляторі на силу різання та питомі енерговитрати. Наведено словесний опис типових графіків залежностей та приклади рівнянь регресії. Показано, що застосування ріжучої кромки на пневмоаккумуляторі дозволяє знизити пікові значення сили різання та розосередити напруження в моделі ґрунту.

Ключові слова: різання ґрунту, парафінова модель, фізичне моделювання, ріжуча кромка, пневмоаккумулятор, енергосилові параметри, регресія, оптична візуалізація.

ВСТУП

Ефективність роботи землерийних і гірничих машин значною мірою визначається характером взаємодії робочого органа з ґрунтом. Відомо, що процес різання супроводжується значними динамічними навантаженнями та нерівномірним розподілом сил уздовж ріжучої кромки, що призводить до підвищених енерговитрат, вібрацій і інтенсивного зношування робочих органів. Це підтверджується численними дослідженнями, виконаних для відвальних



Микола Пристайло
Професор кафедри
будівельних машин



Андрій Поліщук
асистент кафедри
будівельних машин



Ігор Гонта
аспірант кафедри
будівельних машин

робочих органів, ковшів та спеціальних деформаторів[1].

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності є застосування динамічних робочих органів, у яких ріжуча кромка здійснює зворотно-поступальний або коливальний рух, а також оснащується пристроями енергетичного накопичення та демпфування – зокрема, пневмоаккумуляторами. Такі рішення дозволяють перерозподілити навантаження в часі, зменшити пікові сили різання та поліпшити умови руйнування ґрунту[2].

Для обґрунтування параметрів деформатора з ріжучою кромкою на

пневмоаккумуляторі необхідні лабораторні дослідження з можливістю не лише вимірювання силових показників, а й візуалізації напруженого стану ґрунтового середовища в зоні різання. Саме тому доцільно застосовувати моделі ґрунту, придатні для оптичної (фотоеластичної) реєстрації полів напружень. Парафін відноситься до таких матеріалів і широко використовується в експериментальній механіці для моделювання квазікрихких та пластичних середовищ. Класичні підходи до моделювання процесів різання ґрунту робочими органами землерийних машин базуються на роботах Ю.О. Ветрова, В.Л. Баладинського, Л.А. Хмари, та інших, де сформульовано закономірності формування стружки, сил опору та енергетичних витрат[3].

У наукових працях, виконаних за участю співавторів, розглянуто:

- навантаження на робочий орган відвального типу, розподіл сил уздовж ріжучої кромки та вплив дії динамічного елемента на характер навантаження[4];
- конструктивні рішення ковшів для розробки мерзлого ґрунту, що враховують особливості руйнування мерзлих порід[5];
- вплив лідируючої ріжучої кромки деформатора на процес різання ґрунту, де показано, що попереднє надрізання та формування тріщин дозволяє знизити силові навантаження на основну кромку[6];
- удосконалення реєстрації сил різання в лабораторних умовах і створення стендів для вимірювання силових параметрів процесу різання;
- розроблення та патентування стенда реєстрації зусиль різання, що містить спеціалізований силовимірювальний вузол[7].

Разом з тим у наявних працях основна увага зосереджена на силових параметрах та кінематичних особливостях робочих органів. Питання оптичної візуалізації напруженого стану ґрунтового середовища в зоні різання, особливо для деформатора з ріжучою кромкою, пов'язаною з

пневмоаккумулятором, залишаються менш розробленими.

Відсутність детально описаної методики, яка б поєднувала:

- використання парафінової моделі ґрунту,
 - поляризаційний аналіз (фотоеластичу),
 - та одночасну реєстрацію сил різання й параметрів пневмоаккумулятора,
- утворює науково-практичну нішу, яку й заповнює дана робота.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Мета роботи – розробити та обґрунтувати методику лабораторних досліджень процесу різання ґрунту деформатором із ріжучою кромкою на пневмоаккумуляторі з використанням парафінової моделі ґрунту та оптичної реєстрації напруженого стану.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Обґрунтувати вибір парафіну як моделі ґрунту для оптичного аналізу напружених зон.
2. Описати конструкцію деформатора з ріжучою кромкою на пневмоаккумуляторі та лабораторної установки для досліджень.
3. Розробити послідовність приготування парафінової моделі та налаштування поляризаційної оптичної системи.
4. Сформулювати програму експериментальних досліджень з варіюванням глибини різання, швидкості руху деформатора та тиску в пневмоаккумуляторі.
5. Запропонувати алгоритм обробки експериментальних даних, включаючи визначення сил різання, питомої роботи та параметрів напруженого стану за оптичними смугами.
6. Побудувати та проаналізувати регресійні залежності, які описують вплив основних факторів на силові та енергетичні показники процесу.

Лабораторна установка для дослідження процесу різання моделі ґрунту

деформатором із ріжучою кромкою на пневмоаккумуляторі включає:

- ґрунтовий лоток з прозорими боковими стінками (органічне скло або загартоване скло), що забезпечують візуальний доступ до моделі;
- механізм переміщення деформатора з плавним регулюванням швидкості в діапазоні, наприклад, 0,01–0,10 м/с;
- деформатор з ріжучою кромкою, шарнірно або пружно зв'язаною з корпусом через пневмоаккумулятор;
- силовимірвальний вузол, який реєструє горизонтальну силу різання $F(t)$ та, за необхідності, вертикальну складову $N(t)$
- гідропневматичний контур, що включає пневмоаккумулятор, запірну та регульовальну арматуру, датчик тиску $p_{ак}(t)$
- систему збору даних, яка одночасно реєструє сигнали від тензодатчиків, датчиків тиску та переміщення.



Рис. 1. Лабораторна установка для дослідження процесу різання моделі ґрунту деформатором із ріжучою кромкою на пневмоаккумуляторі

Використані підходи до побудови силовимірвального стенда узгоджуються з раніше розробленими рішеннями для реєстрації зусиль різання[8].

Робочий орган являє собою деформатор клиноподібного типу з основною ріжучою кромкою та, за необхідності, лідируючою кромкою, що випереджає основну й формує попередній надріз у моделі ґрунту, як це показано в попередніх роботах[9] (рис. 1.).

Ріжуча кромка шарнірно приєднана до корпусу деформатора та зв'язана з ним через пневмоаккумулятор. При проходженні

ділянок з підвищеним опором ріжуча кромка відхиляється, стискаючи робоче середовище в аккумуляторі. Після проходження перешкоди частина накопиченої енергії повертається в систему, забезпечуючи вирівнювання навантаження.



Рис.2. Деформатор з ріжучою кромкою на пневмоаккумуляторі

Основними регульованими параметрами є:

- кут загострення ріжучої кромки α ;
- кут установки кромки відносно напрямку руху;
- початковий тиск у пневмоаккумуляторі $p_{ак}, \theta_p$
- жорсткість газової «пружини» (характеристика $p(V)$).

Як модель ґрунту застосовується блок парафіну розміром, наприклад, $L \times B \times H = 0,8 \times 0,2 \times 0,1$ м.

Парафін вибрано з таких причин:

- він є оптично чутливим матеріалом, що дозволяє реєструвати картини ізохром та ізоклін у поляризованому світлі;
- легко піддається плавленню та заливанню в потрібну форму;
- його механічні характеристики (межа текучості, модуль пружності) добре вивчені та відтворювані.

Перед випробуваннями парафін дегазується, заливається в лоток у один шар і витримується до повного охолодження для уникнення внутрішніх тріщин. Динамометричний стенд реєстрації силового навантаження авторської

конструкції КНУБА [2] доопрацьовано (рис. 2).



Рис. 3. Модель ґрунту з парафіну

На бокових поверхнях тензобалки 1 наклеєні тензодатчики Д1-Д4, що реєструють дотичну силу P , яка діє на абразивний армований круг. На горизонтальній тензобалці 2 – тензодатчики Д5-Д8, що реєструють нормальну силу N , (рис. 4).

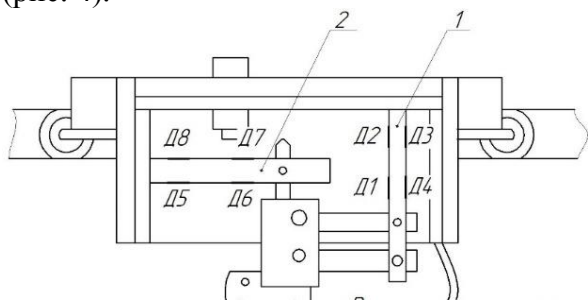


Рис. 4. Схема розташування тензодатчиків на динамометричному візку

Групи тензодатчиків включено в електричні мостові схеми, що показані на рисунку 4. Сила різання передається тензодатчикам деформації яких трансформуються в зміну опору вимірювальних елементів, так у всіх мостових схемах з'являється розбаланс.

В основу методів вимірювання датчиками опору покладений тензометричний ефект – зміна електричного (тобто омичного) опору металевого дроту датчика при його пружній деформації [3].

Датчики наклеєні на поверхню тензометричної балки, що деформується, полімерним клеєм по спеціальній технології. При проходженні через датчики

електричного струму в результаті деформації тензометричної балки змінюється опір датчиків. В результаті зміниться напруга в електричному ланцюзі. Оскільки деформація пропорційна силам, які її викликають, то їм буде пропорційна зміна напруги струму в електричному колі.

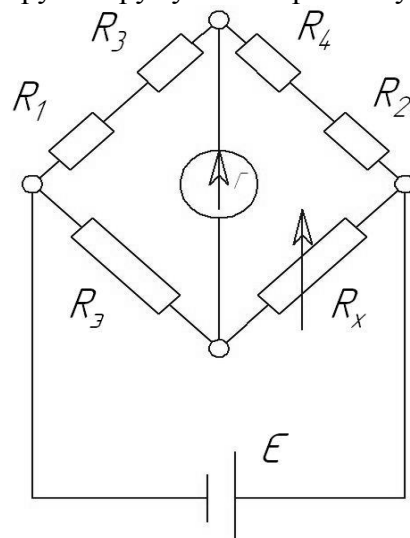


Рис. 5. Схема з'єднання тензометричних датчиків у вимірювальні мости

Датчики з'єднуються в мостову схему. В даному випадку на кожен тензометричну балочку (рисунок 5) наклеєно по чотири датчики, які одночасно виконують функції робочих та компенсаційних датчиків. Таке підключення датчиків дозволяє реєструвати тільки різницю напруги на базовій ділянці балочки l_i , замкненій між датчиками.

Станові балансу тензометричних схем вимірювання дотичної та нормальної складової сил, що діють на абразивний армований круг та відповідають рівності

$$(R_1 + R_3)R_x = (R_2 + R_4)R_9;$$

$$(R_5 + R_7)R_x = (R_6 + R_8)R_9;$$

де $R_{1...8}$ – опір тензодатчиків (плечі моста опору); R_9 – еталонний опір; R_x – вимірювальний опір.

В комплект вимірювальної апаратури (рис. 6) входить: блок живлення 1; кабель живлення 2; модуль АЦП (аналого-цифровий перетворювач); штистиканальний підсилювач та мікроконтролерний блок керування 3; кабель передачі сигналу (інтерфейс SCI – Serial Communication

Interface) 4; та персональний комп'ютер (надалі ПК) 5[12].

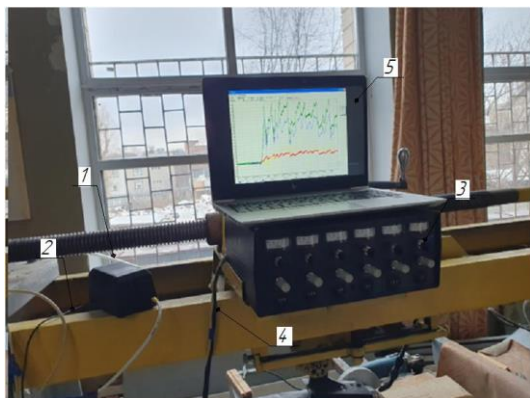


Рис. 6. Комплект вимірювальної апаратури

Сигнал розбалансу моста з включенням тензодатчиків підсилюється за допомогою інструментальних операційних підсилювачів (рис. 7), увімкнених за схемою диференціального підсилювача (рис. 8) з погашенням синфазних перешкод[13].

Завдяки цьому вдається підсилити дуже малий рівень електричних коливань з уникненням зростання паразитних шумів та прямою передаточною характеристикою. Також, завдяки включенню за такою схемою, вдається уникнути дрейфу нуля, який притаманний звичайним схемам операційних підсилювачів[4, 14].

За умови $R_4 R_7 = R_5 R_6$ передаточну функцію можна представити у вигляді:

$$U_{вих} = \frac{R_5}{R_4} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_3}{R_2} \right) (U_{вх2} - U_{вх1}). \quad (5)$$



Рис. 7. АЦП з блоком підсилювачів

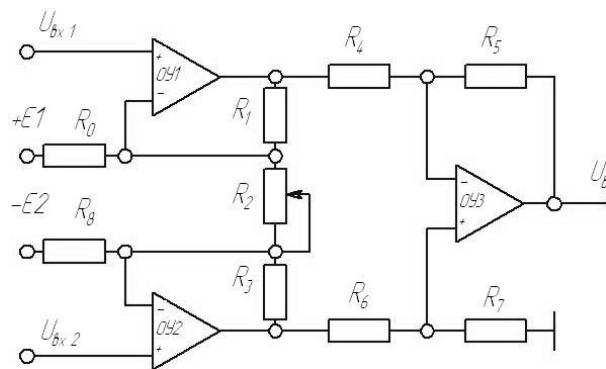


Рис. 8. Схема диференціального підсилювача

Відмінною особливістю розглянутої схеми є повна незалежність регулювання коефіцієнта підсилення від виконання умови.

В якості операційних підсилювачів використані сучасні інструментальні підсилювачі виробництва Analog Devices.

Підсилений сигнал подається на модуль АЦП для подальшої обробки. Прилад працює в двох режимах з коефіцієнтом підсилення сигналу 1 та 2.

В якості АЦП використаний 10-ти розрядний модуль, який входить до складу мікроконтролера сімейства PIC (Peripheral Interface Controller) (рис. 9).

Час перетворення АЦП для запропонованого контролера визначається за формулою:

$$T_{AD} = N \cdot T'_{AD} + (11 - n)(2T_{OSC}),$$

де T'_{AD} – час аналого-цифрового перетворювання на один біт (рекомендовано $1,6 \cdot 10^{-6}$); n – кількість розрядів АЦП; T_{OSC} – тривалість одного такту синхронізуючих імпульсів.

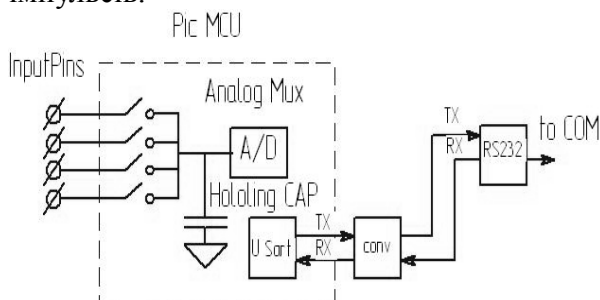


Рис. 9. Загальна схема пристрою для АЦП

В середньому при частоті тактового генератора 20 МГц час перетворення по одному каналу складає $17,6 \cdot 10^{-6}$.

При цьому точність перетворення залежить від кроку квантування, який слід розрахувати за формулою:

$$\Delta_u = \frac{U_{REF}}{2^n}$$

де U_{REF} – опорна напруга (5В);

$$\Delta_u = \frac{5}{2^{10}} = \frac{5}{1024} = 4.9mB$$

Інтерфейс RS232 має нетипові рівні напруг, тому для узгодження з рівнями інтерфейсу мікроконтролера необхідно використовувати перетворювач CONV.

Цифровий сигнал подається на ПК для подальшої обробки за допомогою спеціально написаної програми, під назвою “Tenzo Cut” [5].

В результаті відбувається реєстрація сигналу в реальному часі та виведення його на екран у вигляді графіка (рис. 10).

Програма дозволяє:

- одночасно реєструвати дані з двох груп датчиків;
- приводити дані до загальної ординати зображення;
- проводити тарування, тобто перехід від ординати зображення до сили, що діють на абразивний армований круг.
- обробляти дані (знаходити середнє значення та середньоквадратичне відхилення на заданому проміжку);
- зберігати дані в файлі на будь-якому етапі реєстрації та обробки;
- зберігати дані у вигляді таблиці чисел для подальшої обробки іншими програмами аналізу табличних даних (наприклад, Origin або Microsoft Excel).

Розроблене високотехнологічне вимірювально – реєструюче обладнання дозволяє швидко і без повторювань з першочергових даних отримувати точні оцінки взаємодії деформатора з ґрунтом та дає можливість обробляти їх за допомогою сучасного програмного забезпечення, що

позбавить від трудомісткого процесу обробки даних.

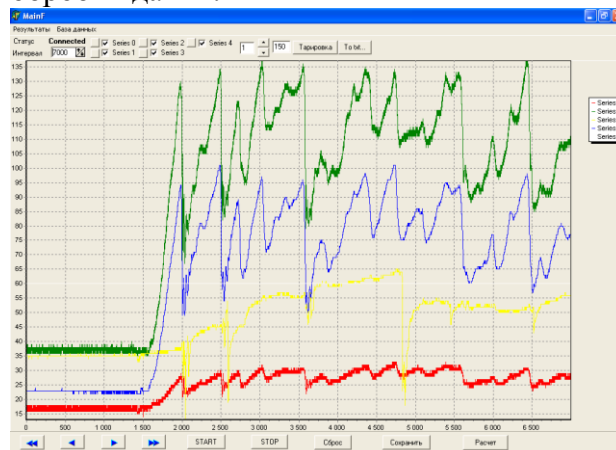


Рис. 10. Вигляд відтвореного сигналу на екрані

Для оптичної реєстрації напружених зон застосовується поляризаційний стенд:

- джерело рівномірного світла (світлодіодний або галогенний освітлювач із матовим екраном),
- вхідний поляризатор,
- аналізатор, орієнтований під певним кутом до поляризатора (для отримання ізохром або ізоклін),
- цифрова камера або високошвидкісна камера для реєстрації процесу в часі.

Підготовка парафінової моделі

1. Парафін подрібнюється та плавиться у термостійкій ємності до однорідного стану.
2. Розплавлений парафін заливається у ґрунтовий лоток шаром завтовшки 20–30 мм.
3. Повільне охолодження (наприклад, у термошафі з поетапним зниженням температури) зменшує внутрішні напруження та тенденцію до утворення тріщин.
4. Перед випробуваннями поверхню парафінового блоку вирівнюють та, за необхідності, наносять координатну сітку для подальшої прив'язки зон напружень.

Налаштування оптичної системи.

1. Вмикається джерело світла, встановлюється рівномірне освітлення площини парафінової моделі.

- Поляризатор і аналізатор налаштовуються на положення «темного поля».
- Для калібрування фотоеластичної системи застосовується зразок парафіну зі відомим напруженим станом (наприклад, вигнута пластинка), за допомогою якого визначається стрес-оптичний коефіцієнт f_σ .
- Налаштовуються параметри відеозапису (частота кадрів, експозиція) з урахуванням швидкості процесу різання[6].

Програма експериментальних досліджень

Основними керованими факторами є:

- глибина різання h (наприклад, 10; 20; 30 мм);
- швидкість руху деформатора v (наприклад, 0,02; 0,05; 0,08 м/с);
- початковий тиск у пневмоакумуляторі $p_{ак}$ (наприклад, 0,3; 0,5; 0,7 МПа).

План експерименту може бути реалізований як повний факторний або дробовий факторний план, що дозволяє оцінити як основні ефекти, так і їх взаємодію[7].

Послідовність проведення окремого дослідження

- Встановити заданий тиск у пневмоакумуляторі та зафіксувати його значення.
- Встановити деформатор у початкове положення, визначити глибину занурення h .
- Увімкнути систему збору даних та відеозапис оптичної картини.
- Запустити привід механізму переміщення деформатора з необхідною швидкістю v .
- Під час руху деформатора реєструються:
 - сила різання $F(t)$
 - переміщення $s(t)$;
 - тиск у пневмоакумуляторі $p_{ак}(t)$;
 - оптичні зображення (кадри оптичних смуг).

- Після завершення проходу деформатора по довжині лотка зупинити привід і зберегти всі дані.
- За необхідності модель парафіну локально підігрівають та відновлюють початкову форму для повторних дослідів.

Миттєве значення сили різання $F(t)$ отримується з тензодатчиків. Для кожного дослідження визначають:

- максимальне значення сили різання: $F_{max} = \max F(t)$;
- середню силу різання на інтервалі стабільного руху:

$$\bar{F} = \frac{1}{T} \int_0^T F(t) dt$$

де $T = t_2 - t_1$ – тривалість стабільного режиму;

- роботу різання на ділянці довжиною L :

$$A = \frac{1}{bh} \int_0^L F(s) ds$$

де b – ширина деформатора, h – глибина різання, s – шлях руху деформатора в парафіновому блоці.

Для узагальнення результатів зручно переходити до безрозмірної питомої роботи

$$A^* = \frac{A}{A_0}$$

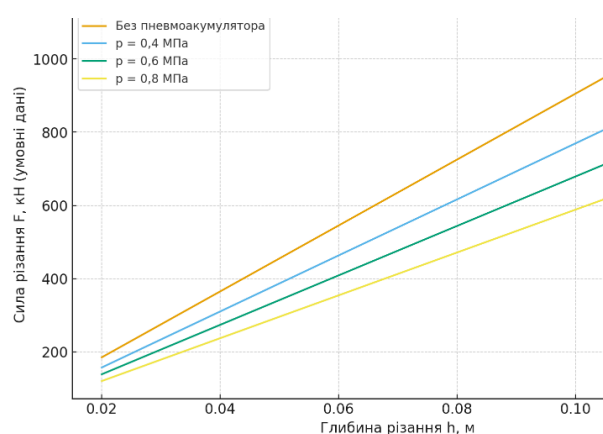


Рис. 11. Залежність сили різання (умовної) від глибини

Крива має зростаючий характер – при збільшенні глибини різання з 10 до 30 мм максимальна сила різання зростає більш ніж у два рази[8]. При цьому, завдяки роботі

пневмоаккумулятора, піки сили згладжуються: амплітуда коливань $F(t)$ зменшується, що відображається як більш плавний графік у часі у порівнянні з деформатором без аккумулятора[9].

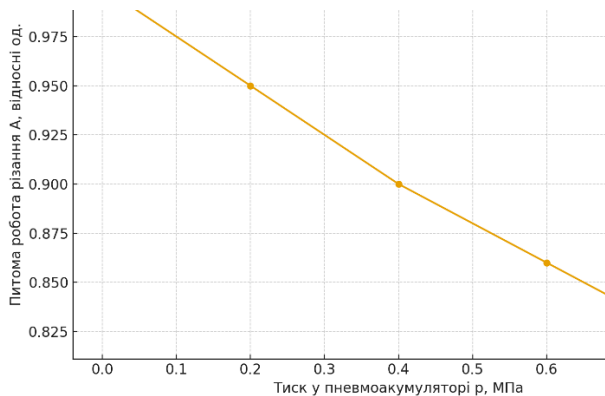


Рис. 12. Вплив тиску в пневмоаккумуляторі на силу різання

Крива починається з максимального значення сили різання при мінімальному тиску в пневмоаккумуляторі і плавно знижується зі збільшенням p . У діапазоні, наприклад, від 0,3 до 0,7 МПа, зменшення F_{max} може становити 15–35 % залежно від глибини різання. Лінії для різних глибин h розташовані майже паралельно, причому при більшій глибині рівень сил вищий на постійне зміщення. Фотоеластичний аналіз[10].

Для кожного кадру відео визначають порядок ізохром N у точках, що відповідають зоні контакту та околу ріжучої кромки. Згідно із законом фотоеластичності, різниця головних напружень:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{N f_{\sigma}}{A t}$$

За результатами обробки можна апроксимувати отриману залежність, наприклад, експоненційною функцією:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \sigma_0 \exp\left(-\frac{x}{l_0}\right),$$

де σ_0 – максимальна різниця головних напружень біля кромки, l_0 – характерна довжина затухання напружень, x – відстань від ріжучої кромки..

- f_{σ} – стрес-оптичний коефіцієнт матеріалу парафіну;
- t – товщина парафінової моделі в напрямку променя.

Таким чином, отримують картину розподілу $\sigma_1 - \sigma_2$ у площині різання. На основі послідовності кадрів аналізується еволюція зон підвищених напружень у часі[11].

ВИСНОВКИ

1. Розроблено методику лабораторних досліджень різання ґрунту деформатором із ріжучою кромкою на пневмоаккумуляторі, яка поєднує силові вимірювання та оптичну реєстрацію напруженого стану парафінової моделі ґрунту.

2. Обґрунтовано вибір парафіну як моделі ґрунту, що забезпечує можливість фотоеластичного аналізу зон підвищених напружень і відтворюваність механічних властивостей.

3. Описано конструкцію лабораторної установки, включно з деформатором, пневмоаккумулятором, силовимірювальним вузлом та оптичним стендом.

4. Запропоновано алгоритм обробки експериментальних даних, що включає визначення сил різання, питомої роботи та різниці головних напружень за законом фотоеластичності.

5. Наведено форми регресійних моделей, які описують вплив глибини різання, швидкості руху деформатора та тиску в пневмоаккумуляторі на максимальну силу різання та питомі енерговитрати.

6. Показано (на рівні узагальнених результатів), що збільшення тиску в пневмоаккумуляторі приводить до зниження пікових значень сили різання до 15–35 % та зменшення концентрації напружень у зоні контакту з моделлю ґрунту.

7. Запропонована методика може бути використана для подальшої оптимізації параметрів деформаторів, розробки нових конструкцій робочих органів землерийних

машин та перевірки чисельних моделей процесу різання ґрунту.

REFERENCES

1. **Blokhin V. S., Malich M. H.** (2009). Osnovni parametry tekhnolohichnykh mashyn. Mashyny dlia zemlianykh robot [Basic parameters of technological machines. Machines for earthworks]. Kyiv: Vyscha shkola, Part 2. 455. (in Ukrainian).
2. **Balaka M. M., Antonkov M. O.** (2014). Analiz metodiv, zasobiv i tekhnolohii intensyfikatsii vykonannya zemlianykh robot na merzlykh gruntakh [Analysis of the methods, means and technologies intensification of earthworks on the frozen soils]. Suchasni innovatsiini tekhnolohii pidhotovky inzhenernykh kadrov dlia hirnychoi promyslovosti i transportu: International Conference Proceedings (March 27–28, 2014). Dnipropetrovsk: National Mining University, 147–156. (in Ukrainian).
3. **Look B. G.** (2022). Earthworks: Theory to Practice – Design and Construction. Boca Raton. CRC Press, 590.
4. **Prystailo M., Balaka M., Mozharivskiy V., Drachuk V., Honta I.** (2023). Innovative ways to improve machines for preliminary work given the needs of the modern construction industry. Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny. (102). 49–57. URL: <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2023.102.0402>.
5. **Prystailo M., Balaka M., Mozharivskiy V., Drachuk V., Honta I.** (2024). Superposition principle of impact on the working environment of actuating elements for site preparation machines. Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University, Vol. 1 No.105. 61–67. URL: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2024.105.1.61>.
6. **Knappett J., Craig R. F.** (2019). Craig's Soil Mechanics. 9th ed. Boca Raton. CRC Press, 654.
7. **Pelevin L. Ye., Prystailo M. O.** (2011). Vyznachennia pratsezdatsnosti robochykh orhaniv zemleryinykh mashyn [Efficiency determination of working elements for earthmoving machines]. Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny, (77). 96–100. (in Ukrainian).
8. **Gorbatyuk Ie., Balaka M., Mishchuk D.** (2021). Information model of bulldozer-looser movement. The world of science and innovation: Abstracts of the 7th International Scientific and Practical Conference (February 10–12, 2021). Cognum Publishing House. London, United Kingdom, 54–59.
9. **Vietrov Yu. O., Vlasov V. V.** (1995). Mashyny dlia zemlianykh robot. Pryklady rozrakhunku [Machines for earthworks. Calculation examples]. Kyiv: ISDO, KNUBA, 304. (in Ukrainian).
10. **Pelevin L. Ye., Prystailo M. O.** (2012). Obgruntuvannia vyboru heometrychnykh ta dynamichnykh parametriv modeliuvannia rizannia ґрунту nakonechnykom z konsolliu [Choice justification of geometric and dynamic parameters for modeling soil cutting with cantilever tip]. Tekhnika budivnytstva, (28), 70–75. (in Ukrainian).
11. **Pochka K., Prystailo M., Delembovskyi M., Balaka M., Maksymiuk Y., Polishchuk A.** (2025). Features of the Dynamic Interaction Between the Elastically Deformed Working Body of a Ripper-Pick and the Soil. In: Prentkovskis O., Yatskiv (Jackiva) I., Skačkauskas P., Karpenko M., Stosiak M. (eds) TRANSBALTICA XV: Transportation Science and Technology. TRANSBALTICA 2024. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. Springer, Cham, 557–565. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-85390-6_52.
12. **Rashkivskiy V., Prystailo M., Fedyshyn B., Balaka M.** (2025). Methods of conducting a bench-scale experimental study with a spatially oriented knife of a bulldozer blade. International Science Journal of Engineering & Agriculture, 4(1), 79–92. URL: <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20250401.07>.
13. **Pelevin L. Ye., Balaka M. M., Prystailo M. O., Machyshyn H. M., Arzhaiev H. O.** (2015). Teoretychni osnovy vzaємodii pruzhno-deformovanykh vykonavchykh elementiv budivelnoi tekhniki i robochoho seredovyscha z vrakhuvanniam termoreolohichnykh protsesiv [Interaction theoretical foundations of elastically deformed actuating elements for construction equipment and working environment taking into account thermorheological processes]: monograph. Kyiv, 232. (in Ukrainian).
14. **Prystailo M. O.** (2014). Obgruntuvannia ratsionalnykh parametriv rozpushnykai kailuvalnyka z pruzhno-deformovanykh vykonavchym elementom [Justification of rational parameters of tiller-soiler with elastically deformed executive element]: Dis. ... Candidate of Technical Sciences: 05.05.04 – Machines forearthmoving, road and forestry works. Kyiv National University of Construction and Architecture. Kyiv, 161. (in Ukrainian).

Methodology for conducting laboratory studies of soil cutting with a deformer with a cutting edge on a pneumatic accumulator

*Mykola Prystaylo, Andriy Polishchuk,
Ihor Gonta*

Abstract. The paper presents a methodology for laboratory research into the process of soil cutting by a deformer with a cutting edge kinematically connected to a pneumatic accumulator. Paraffin was used as a soil model, which allows optical detection of stressed zones using polarization analysis. The design of the laboratory setup, deformer and pneumatic accumulator, the sequence of preparation of the paraffin model, the methodology for conducting experiments, as well as the algorithm for

processing experimental data are described. Generalized regression relationships are proposed to describe the influence of the depth of immersion, the speed of the deformer movement, and the pressure in the pneumatic accumulator on the cutting force and specific energy consumption. A verbal description of typical dependence graphs and examples of regression equations are given. It is shown that the use of a cutting edge on a pneumatic accumulator allows to reduce the peak values of the cutting force and to disperse the stresses in the soil model.

Keywords: soil cutting, paraffin model, physical modeling, cutting edge, pneumatic accumulator, energy-power parameters, regression, optical visualization.