

hysteresis loop and the maximum force value at 25% relative deformation of the granular material from its physical and mechanical properties (density, Poisson's ratio and Young's modulus) were obtained. The presented results can be used in further modeling or in the creation of physico-mathematical models of the process of compression of grain material in granulators, extruders and expanders.

**bulk material, grain, compression, force, deformation, elastic hysteresis, modeling, simulation**

*Одержано (Received) 16.05.2023*

*Прорецензовано (Reviewed) 19.05.2023*

*Прийнято до друку (Approved) 29.05.2023*

УДК 631.362

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.67-74](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.67-74)

**Е.Б. Алієв**, проф., д-р техн. наук, ст.дослідник, **К.О. Лупко**, здобувачка третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти  
*Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна*  
*e-mail: aliev@meta.ua*

## Результати експериментальних досліджень селекційно-насінницького трієра

Метою є експериментальне обґрунтування основних параметрів та режимів роботи селекційно-насінницького трієра дрібнонасінневих культур, розробка алгоритму роботи і програмного забезпечення відповідної мехатронної системи. Для проведення експериментальних досліджень розроблено й створено лабораторний селекційно-насінницький трієр. Для зміни частоти обертання циліндра і напрямку обертання використано плату керування Arduino UNO і драйвер електродвигуна постійного струму L298N. Керувати частотою і напрямком обертання циліндра можна в ручному режимі з використанням потенціометра і автоматичному з використанням монітор-порту Arduino IDE. Робочим органом трієра є циліндр, який складається з пластин із чарунками. В результаті експериментальних досліджень процесу сепарації дрібнонасінневих культур на лабораторному циліндричному чарунковому трієрі отримано залежності зміни мінімального  $\theta_{\min}$  і максимального  $\theta_{\max}$  кутів виходу насіння з чарунки циліндра трієра від маси вихідного матеріалу насіння  $M_0$ , частоти обертання циліндра  $n$  та вмісту домішок  $f_0$ . Отримані залежності увійшли до програмного забезпечення системи керування мехатронної системи, яке дозволяє налаштувати положення лотка для збору насіння в результаті керування сервоприводом.

**насіння, домішки, очищення, розділення, сепарація, трієр, параметри, керування, мехатронна система, насіння, ефективність**

**Постановка проблеми.** Однією з важливих задач агропромислового виробництва є розширення асортименту насінневого матеріалу, щоб задовольнити зростаючі потреби різних фермерських господарств. Однак при досягненні певного рівня виробництва насінневого матеріалу виникає перевантаження на насіннеочисну техніку, що призводить до порушення технології потокової післязбиральної обробки насіння [1, 2].

Якість обробленого насінневого матеріалу в значній мірі залежить від відповідності технічних засобів об'єму та раціональної технології післязбиральної обробки насіння [3]. Існуючі технологічні лінії для обробки насіння не забезпечують можливості відбору високоякісного насіння без додаткових витрат та ефективність його очищення від домішок за довжиною.

В Україні заклади, які займаються селекційно-насінницькою роботою та очищенням насіння різних сільськогосподарських культур, використовують старі машини, такі як трієри, які були виготовлені більше 20 років тому. Ці машини фізично зношені, а їх конструкції потребують модернізації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Згідно з чинним державним стандартом України ДСТУ 2240-93 [4], якість насіння дрібнонасінневих культур визначається зокрема за їх сортовою чистотою, яка для елітного насіння (еліта, супереліта) повинна бути в межах 99,6-99,9% в залежності від культури. Згідно з Державною цільовою програмою розвитку аграрного сектору [5], важливим завданням є стимулювання збільшення виробництва доbazового та базового насіння вітчизняних сільськогосподарських культур.

Проведений аналіз висновків, які були отримані від науковців та фахівців компаній Bühler Schmidt-Seeger, Denis Prive, NEUERO Farm- und Fördertechnik GmbH, PETKUS Technologie GmbH (Німеччина), Zanin F.lli s.r.l. (Іспанія), Westrup (Данія), Акурек (Туреччина), підтвердив широкий спектр технологій та технічних засобів, які використовуються для післязбиральної переробки насіння і підготовки насінневого матеріалу дрібнонасінневих культур. Однак навіть комплексний підхід, що включає використання універсальних очисних машин, не забезпечує можливість систематизувати та розробити науково-технологічні основи процесів очищення та розділення насіння для різних сортів дрібнонасінневих культур, таких як льон, гірчиця, ріпак, рижій, шавлій, амарант та інші [6]. Один з варіантів розв'язання цієї проблеми полягає в поліпшенні наявних технічних засобів для сепарації шляхом створення мехатронних систем автоматизованого керування їх конструктивними та режимними параметрами.

На результати сортування насінневого матеріалу впливають різні індивідуальні фізичні характеристики насіння [7]. Фізичні характеристики включають розмір, довжину, вагу, форму, колір та інші параметри [8]. Без аналізу фізичних характеристик різних видів насіння неможливо вдосконалювати сучасні насіннеочисні машини [9, 10] або розробляти нові типи обладнання [11, 12]. Огляди характеристик, які були опубліковані [13, 14], допомагають сформулювати сучасну технологічну лінію для процесів сепарації насінневого матеріалу дрібнонасінневих культур, враховуючи їх фізико-механічні властивості.

Для поділу насінневої суміші за розміром можна використовувати наступне обладнання: решітки з круглими або прямокутними отворами для розділення за шириною та товщиною, а трієри для розділення за довжиною [3, 6, 15].

У зв'язку з цим, в рамках проведених досліджень передбачається розробка мехатронної системи для селекційно-насінницького трієра та обґрунтування його конструктивно-технологічних параметрів. Застосування цієї системи дозволить здійснювати процес сепарації з меншими експлуатаційними витратами та збільшеною продуктивністю.

**Постановка завдання.** Метою є експериментальне обґрунтування основних параметрів та режимів роботи селекційно-насінницького трієра дрібнонасінневих культур, розробка алгоритму роботи і програмного забезпечення відповідної мехатронної системи.

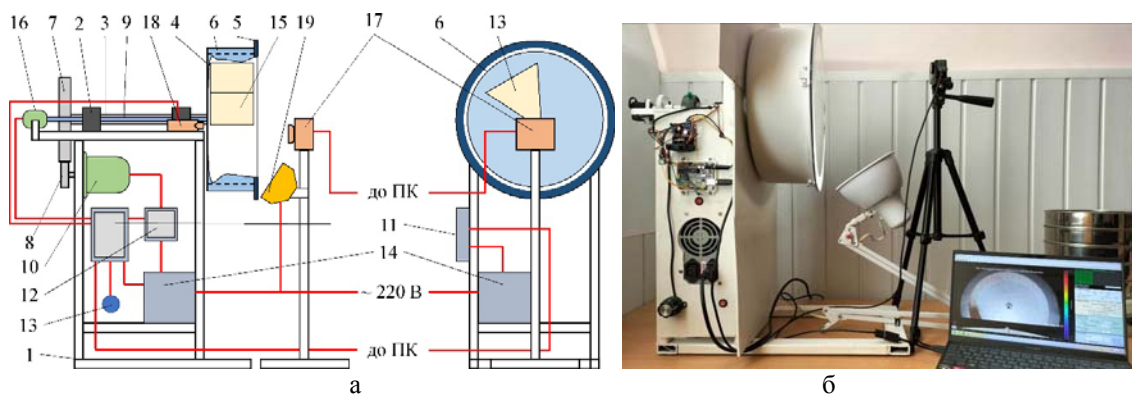
**Виклад основного матеріалу.** Для проведення експериментальних досліджень розроблено й створено лабораторний селекційно-насінницький трієр (рис. 1). Робочим органом циліндричного чарункового трієра є циліндр, який складається з пластин із чарунками. Пластини надруковані на 3D-принтері Anycubic S із ABS+ пластика.

Для зміни частоти обертання циліндра і напрямку обертання використано плату керування Arduino UNO і драйвер електродвигуна постійного струму L298N. Керувати

частотою і напрямом обертання циліндра можна в ручному режимі з використанням потенціометра і автоматичному з використанням монітор-порту Arduino IDE. Контроль за частотою обертання циліндра здійснено ІЧ-сенсором, який відкалібрований тахометром контактним Venetech GM8906. Пластини із чарунками закріплюються між собою і циліндром з використанням з'єднувальних замків, що унеможлиблює випадкове зміщення пластин під час обертання циліндра. Лоток має можливість швидко зніматися з лабораторної установки.

В якості об'єкту досліджень обрано насіння гірчиці сорту Запоріжанка, ріпаку сорту Атлант і рижій сорту Престиж.

Процес досліджень селекційно-насінницького трієра проводився наступним чином. Спочатку підготовлювалися навіски вихідного насіннєвого матеріалу із домішками. Імітацією домішок виступало насіння льону. Маса вихідного матеріалу насіння  $M_0$  і вміст домішок  $f_0$  є факторами досліджень (табл. 1).



1 – станина; 2 – підшипники; 3 – порожній вал; 4 – циліндр; 5 – скляна кришка; 6 – пластины із чарунками; 7 – шків відомий; 8 – шків ведучий; 9 – суцільний вал; 10 – електродвигун постійного струму; 11 – плата керування Arduino UNO; 12 – драйвер електродвигуна постійного струму L298N; 13 – потенціометр; 14 – блок живлення; 15 – лоток; 16 – сервопривід; 17 – відеокамера Aspiring Repeat 4 Ultra HD 4K Dual Screen; 18 – ІЧ-сенсор; 19 – лампа холодного білого освітлення (5000–6500K)

Рисунок 1 – Конструктивно-технологічна схема (а) і загальний вигляд (б) лабораторного селекційно-насінницького трієра

*Джерело: розроблено авторами*

Масу вихідного матеріалу і домішок визначали з використанням електронних ваг JD-2200-2 виробництва ТОВ «Центровес» (абсолютна похибка вимірювання 0.01 г). На першому етапі досліджень лоток відсутній. Навіску вихідного насіннєвого матеріалу із домішками розміщали у циліндрі. На платі керування електродвигуном встановлювали частоту обертання валу електродвигуна і відповідно циліндра. Напрямок обертання циліндра за годинниковою стрілкою. Частота обертання циліндра є фактором досліджень. Після запуску електродвигуна включається відеокамера і фіксується робота циліндричного чарункового трієра.

Для оцінки якості роботи селекційно-насінницького трієра отримане відео з відеокамери необхідно наочно проаналізувати і розрахувати траєкторії руху насінин під час їх польоту в циліндрі. Для цього необхідно спеціалізоване програмне забезпечення. В результаті інформаційного пошуку визначено базовий програмний код TracTrac, який розроблений Йорисом Хейманом [16, 17]. Код є повністю відкритим і написаний на мові програмування Python з використанням відкритої бібліотеки OpenCV. Однак для поставлених задач необхідно удосконалити дане програмне забезпечення.

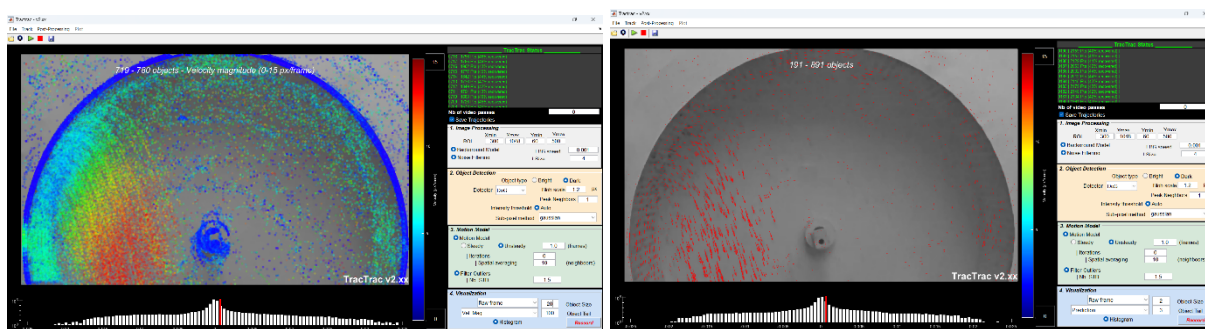


Рисунок 2 – Візуалізація удосконаленого програмного пакету TracTrac для визначення траєкторії польоту насінин при їх русі в селекційно-насінницькому трієрі  
 Джерело: розроблено авторами

В якості критерію оцінки процесу сепарації циліндричного чарункового трієра прийнято траєкторію польоту насінин. В результаті досліджень отриманих траєкторій визначено максимальний  $\theta_{max}$  та мінімальний  $\theta_{min}$  кути повороту на моментах сходу першого компоненту насінневого матеріалу та останнього.

Таблиця 1 – Фактори експериментальних досліджень процесу сепарації дрібнонасінневих культур на лабораторному циліндричному чарунковому трієрі

| Фактор                                      | Код   | Рівні варіювання |     |     | Інтервал варіювання |
|---|-------|------------------|-----|-----|---------------------|
|   |       | -1               | 0   | +1  |                     |
| Маса вихідного матеріалу насіння $M_0$ , кг | $x_6$ | 0,1              | 0,2 | 0,3 | 0,1                 |
| Частота обертання циліндра $n$ , об/хв      | $x_2$ | 34               | 40  | 46  | 6                   |
| Вміст домішок $f_0$ , %                     | $x_7$ | 10               | 30  | 50  | 20                  |

Джерело: розроблено авторами

Матриця планування трифакторного експерименту за повнофакторним дослідом. Загальна кількість дослідів – 27. Повторність – триразова.

Обробка результатів проведених досліджень за методом факторного планування експерименту виконується з використанням програмного пакету Wolfram Cloud. Умови однорідності дослідів означають, що помилки мають приблизно однаковий вплив на всі точки, що включені до плану дослідів. Для перевірки відтворення дослідів, які виконувалися у трьохкратній повторності, використовують критерій Кохрена. Адекватність отриманих моделей перевірялась за допомогою критерію Фішера. Для перевірки значимості коефіцієнтів регресії використовується метод визначення довірчого інтервалу. Коефіцієнт регресії вважається значимим, якщо його абсолютне значення перевищує величину довірчого інтервалу, який обчислюється за допомогою t-критерію Стьюдента.

Обробка отриманих даних в програмному пакеті Wolfram Cloud дозволила отримати рівняння регресії другого порядку, яке показує залежність значень мінімального  $\theta_{min}$  і максимального  $\theta_{max}$  значень кутів виходу насіння з чарунки циліндра трієра від факторів досліджень в закодованому вигляді:

$$\theta_{min} = 0,22845 + 0,0823248 x_6 + 0,0164483 x_6^2 + 0,0977746 x_2 + 0,0235159 x_6 x_2 + 0,00354167 x_6^2 - 0,00520833 x_7 - 0,0003125 x_6 x_7 - 0,003125 x_2 x_7 + 0,00270833 x_7^2, \tag{1}$$

$$\theta_{max} = 0,785097 + 0,0401852 x_6 - 0,00104938 x_6^2 + 0,207715 x_2 + 0,00627778 x_6 x_2 - 0,000493827 x_2^2 - 0,0045679 x_7 - 1,14146 \cdot 10^{-16} x_6 x_7 + 0,00222222 x_2 x_7 + 0,0000617284 x_7^2. \tag{2}$$

Статистична обробка рівнянь (1) і (2) приведені в таблицях 2 і 3 відповідно.

Порівнюючи розрахований критерій Стьюдента із табличним  $t_{0,05}(27) = 2,05$  проведемо відхилення незначущих коефіцієнтів регресії. В результаті перетворимо рівняння (1) і (2):

$$\theta_{\min} = 0,22845 + 0,0823248 x_6 + 0,0164483 x_6^2 + 0,0977746 x_2 + 0,0235159 x_6 x_2 - 0,00520833 x_7 - 0,003125 x_2 x_7, \quad (3)$$

$$\theta_{\max} = 0,785097 + 0,0401852 x_6 + 0,20771 x_2 + 0,006277 x_6 x_2 - 0,004567 x_7. \quad (4)$$

Статистичний аналіз рівнянь (3) і (4) в досліджуваному діапазоні варіювання показав, що коефіцієнт кореляції Пірсона складає 0,89 і 0,88 відповідно. В свою чергу критерій Фішера складає  $F_{(4,3)} = 2,12 < F_T = 2,49$  і  $F_{(4,4)} = 2,21 < F_T = 2,49$  відповідно. Це підтверджує адекватність отриманих моделей.

Підставляючи в рівняння (1)–(2) замість  $x_i$  вирази для факторів досліджень в явному вигляді отримуємо залежність значень мінімального  $\theta_{\min}$  і максимального  $\theta_{\max}$  значень кутів виходу насіння з чарунки циліндра трієра від факторів досліджень в розкодованому вигляді:

$$\theta_{\min} = -0,0747216 + 0,00078125 f_0 - 1,40241 M_0 + 1,64483 M_0^2 + 0,00136801 n - 0,0000260417 f_0 n + 0,0391932 M_0 n + 0,0000983796 n^2, \quad (5)$$

$$\theta_{\max} = -0,589487 - 0,000228395 f_0 - 0,0166667 M_0 + 0,0325266 n + 0,010463 M_0 n. \quad (6)$$

Таблиця 3 – Результати статистичної обробки рівняння (1)

| Коефіцієнт | Значення    | Помилка    | Критерій Стьюдента | Ймовірність              |
|------------|-------------|------------|--------------------|--------------------------|
| $a_{00}$   | 0,22845     | 0,00228006 | 100,195            | $5,23448 \cdot 10^{-25}$ |
| $a_{60}$   | 0,0823248   | 0,00105546 | 77,9987            | $3,66357 \cdot 10^{-23}$ |
| $a_{20}$   | 0,0977746   | 0,00105546 | 92,6366            | $1,98117 \cdot 10^{-24}$ |
| $a_{70}$   | -0,00520833 | 0,00105546 | -4,93464           | 0,000125665              |
| $a_{62}$   | 0,0235159   | 0,00129267 | 18,1917            | $1,3999 \cdot 10^{-12}$  |
| $a_{63}$   | -0,0003125  | 0,00129267 | -0,241747          | 0,811868                 |
| $a_{27}$   | -0,003125   | 0,00129267 | -2,41747           | 0,027149                 |
| $a_{66}$   | 0,0164483   | 0,00182812 | 8,99739            | $7,11546 \cdot 10^{-8}$  |
| $a_{22}$   | 0,00354167  | 0,00182812 | 1,93733            | 0,0695023                |
| $a_{77}$   | 0,00270833  | 0,00182812 | 1,48149            | 0,156775                 |

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 3 – Результати статистичної обробки рівняння (2)

| Коефіцієнт | Значення                 | Помилка     | Критерій Стьюдента        | Ймовірність              |
|------------|--------------------------|-------------|---------------------------|--------------------------|
| $a_{00}$   | 0,785097                 | 0,00212863  | 368,828                   | $1,2668 \cdot 10^{-34}$  |
| $a_{60}$   | 0,0401852                | 0,000985363 | 40,7821                   | $2,11641 \cdot 10^{-18}$ |
| $a_{20}$   | 0,207715                 | 0,000985363 | 210,801                   | $1,706 \cdot 10^{-30}$   |
| $a_{70}$   | -0,0045679               | 0,000985363 | -4,63575                  | 0,000236365              |
| $a_{62}$   | 0,00627778               | 0,00120682  | 5,20192                   | 0,0000719783             |
| $a_{63}$   | $-1,1414 \cdot 10^{-16}$ | 0,00120682  | $-9,45841 \cdot 10^{-14}$ | 1                        |
| $a_{27}$   | 0,00222222               | 0,00120682  | 1,84139                   | 0,0830827                |
| $a_{66}$   | -0,00104938              | 0,0017067   | -0,614861                 | 0,546789                 |
| $a_{22}$   | -0,000493827             | 0,0017067   | -0,289346                 | 0,775815                 |
| $a_{77}$   | 0,0000617284             | 0,0017067   | 0,0361683                 | 0,971569                 |

Джерело: розроблено авторами

Графічна інтерпретація залежностей (5)–(6) представлена на рис. 3 при фіксованих значеннях факторів досліджень.

З рис. 3 видно, що значення мінімального кута  $\theta_{\min}$  незначно збільшується при збільшенні маси вихідного матеріалу, а також збільшується при збільшенні частоти обертання циліндра трієра  $n$ . Значення максимального кута  $\theta_{\max}$  незначно збільшується від маси вихідного матеріалу насіння  $M_0$ , але значно збільшується зі збільшенням частоти обертання циліндра трієра. З рис. 3 видно, що значення мінімального кута  $\theta_{\min}$  збільшується зі збільшенням маси вихідного матеріалу насінневої суміші. Збільшення вмісту домішок не впливає на мінімальне  $\theta_{\min}$  і максимальне  $\theta_{\max}$  значення кутів виходу насіння з чарунки циліндра трієра. З рис. 3 видно, що зі збільшенням частоти обертання  $n$  зростають значення мінімального  $\theta_{\min}$  і максимального  $\theta_{\max}$  кутів виходу насіння з чарунки циліндра трієра.

Отримані залежності (5) і (6) увійшли до програмного забезпечення системи керування мехатронної системи, яке дозволяє обробляти відеозображення та визначати траєкторію польоту насінин. На основі отриманих даних відбувається налаштування положення лотка для збору насіння в результаті керування сервоприводом. Окрім цього з персонального комп'ютера є можливість керувати електродвигуном через плату керування Arduino UNO і драйвер електродвигуна, а саме встановлювати частоту і напрямок обертання циліндру.

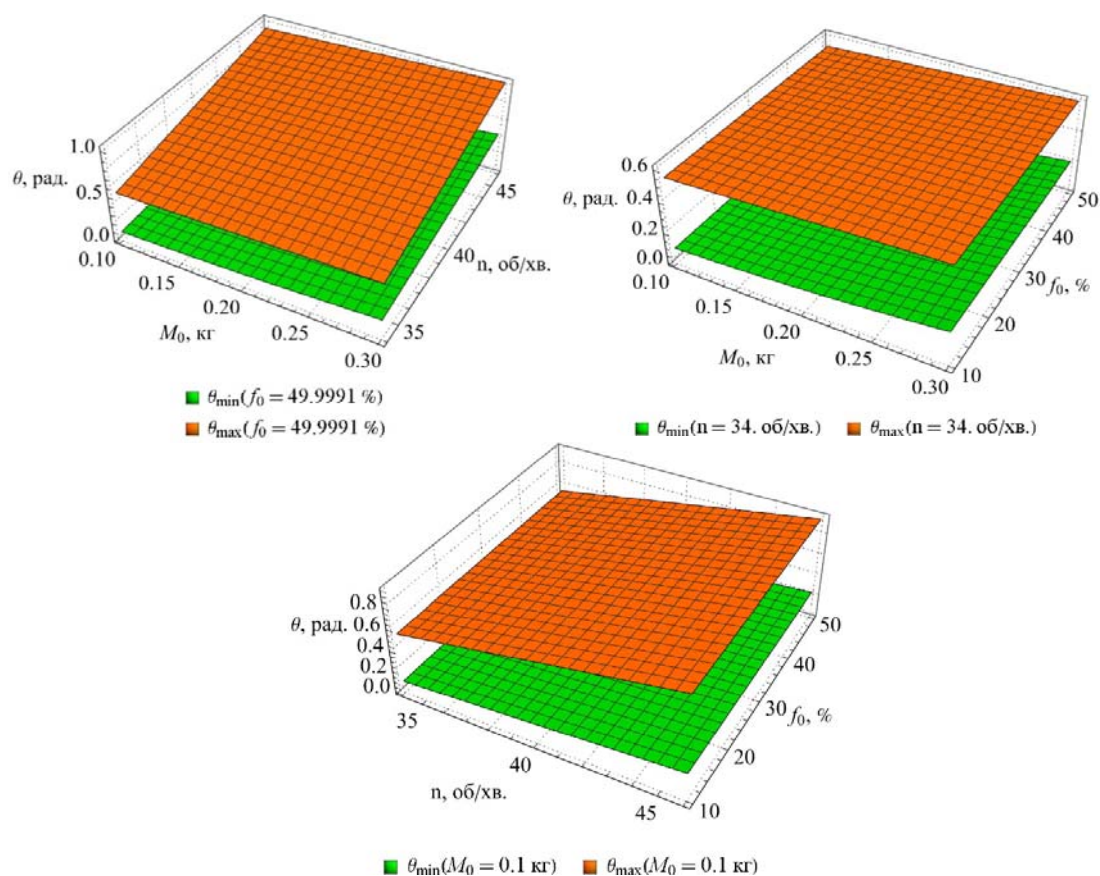


Рисунок 3 – Залежність мінімального  $\theta_{\min}$  і максимального  $\theta_{\max}$  значень кутів виходу насіння з чарунки циліндра трієра від факторів досліджень

Джерело: розроблено авторами

**Висновки.** В результаті експериментальних досліджень процесу сепарації дрібнонасіньових культур на лабораторному циліндричному чарунковому трієрі отримано залежності (5) і (6) значень мінімального  $\theta_{\min}$  і максимального  $\theta_{\max}$  кутів виходу насіння з чарунки циліндра трієра від маси вихідного матеріалу насіння  $M_0$ ,

частоти обертання циліндра  $n$  та вмісту домішок  $f_0$ . Отримані залежності (5) і (6) увійшли до програмного забезпечення системи керування мехатронної системи, яке дозволяє налаштувати положення лотка для збору насіння в результаті керування сервоприводом.

## Список літератури

1. Кириченко В. В. Основи управління продукційним процесом польових культур. Харків, 2016. 711 с.
2. Льон олійний, гірчиця. Стратегія виробництва олійної сировини в Україні (малопоширені культури / І.А. Шевченко та ін.; Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України. Запоріжжя: СТАТУС, 2017. 44 с.
3. Алієв Е.Б. Фізико-математичні моделі процесів прецизійної сепарації насінневого матеріалу соняшнику: монографія. Запоріжжя: СТАТУС, 2019. 196 с.
4. ДСТУ 2240-93. Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості. Технічні умови. Київ: Держстандарт України, 1993. 74 с.
5. Державна цільова програма розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020 року *Офіційний вісник України*. № 24. Київ: Кабінет Міністрів України. 2016. 11 с.
6. Алієв Е.Б. Механіко-технологічні основи процесу прецизійної сепарації насінневого матеріалу соняшнику: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.11. Запоріжжя. 2020. 530 с.
7. Jayas D., Cenkowski S. Grain property values and their measurement. *Handbook of Industrial Drying*. / Ed. by Mujumdar A. 2006. P. 575–603.
8. Riahi E., Ramaswamy H. Structure and composition of cereal grains and legumes. *Handbook of Postharvest Technology*. 2003. P. 17–40.
9. Sablani S.S., Ramaswamy H.S. Physical and thermal properties of cereal grains. *Handbook of Postharvest Technology*. 2003. P. 17–40.
10. Öztürk T., Esen B. Physical and mechanical properties of barley. *Agricultura tropica et subtropica*. 2008. 41. P. 117–121.
11. Tavakoli M., Tavakoli H., Rajabipour A., Ahmadi H., Gharib-Zahedi S.M.T. Moisture-dependent physical properties of barley grains. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2009. P. 84–91.
12. Sologubik C., Campañone L., Pagano A., Gely M. Effect of moisture content on some physical properties of barley. *Industrial Crops and Products*. 2013. P. 762–767.
13. Karaj S., Müller J. Determination of physical, mechanical and chemical properties of seeds and kernels of *Jatropha curcas*. *Industrial Crops and Products*. 2010. P. 129–138.
14. Чурсінов Ю. О., Кудрявцев І. М., Луценко М. В. Розробка мобільної установки для сортування зернових відходів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. (2022). № 2 (12). С. 93-99.
15. Naumenko M., Sokol S., Filipenko D., Guridova V., Kharytonov M. Numeric model of the grain mixture flow in a cylindrical sieve which re-rotates around the inclined axis. *IN-MATEH – Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 56, No. 3. P. 67-74.
16. Heyman J. TracTrac: a massive object tracking algorithm to measure earth surface dynamics. *Computers and Geosciences*. 2019. 128, 11-18, DOI: 10.1016/j.cageo.2019.03.007
17. Heyman J., Boltenhagen P., Delannay R., Valance A. Experimental investigation of high speed granular flows down inclines. *EPJ Web of Conferences*. 2017. 140, 03057, 10.1051/epjconf/201714003057.

## Referencis

1. Kyrychenko, V. V. (2016). *Osnovy upravlinnya produktsiynym protsesom pol'ovykh kul'tur [asics of managing the production process of field crops]*. Kharkiv [in Ukrainian].
2. Shevchenko, I. A., Lyakh, V. O., Polyakov, O. I., Soroka, A. I., Vedmedyeva K. V., Zhuravel', V. M., Makhno YU. O., Tovstanovs'ka T. H. & Budilka H. I. (2017). *L'on oliyny, hirschytsya. Stratehiya vyrobnytstva oliynoyi syrovyny v Ukrayini (maloposhyreni kul'tury) [Flax oil, mustard. Strategy for the production of oil raw materials in Ukraine (uncommon crops)]*. Instytut oliynykh kul'tur Natsional'noyi akademiyi ahrarnykh nauk Ukrayiny. Zaporizhzhya: STATUS [in Ukrainian].
3. Aliiev, E. B. (2019). *Fizyko-matematychni modeli protsesiv pretsyziynoyi separatsiyi nasinnyevoho materialu sonyashnyku: monohrafiya [Physico-mathematical models of processes of precision separation of sunflower seed material: monograph]*. Zaporizhzhya: STATUS [in Ukrainian].

4. *Nasinnya sil's'kohospodars'kykh kul'tur. Sortovi ta posivni yakosti [Seeds of agricultural crops. Varietal and sowing qualities].* (1993). DSTU 2240-93. Tekhnichni umovy. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
5. *Derzhavna tsil'ova prohrama rozvytku ahrarynoho sektoru ekonomiky na period do 2020 roku [State target program for the development of the agricultural sector of the economy for the period until 2020]* (2016). Ofitsiynyy visnyk Ukrainy. № 24. Kyiv: Kabinet Ministriv Ukrainy [in Ukrainian].
6. Aliiev, E.B. (2020). Mekhaniko-tekhnologichni osnovy protsesu pretsyziynoyi separatsiyi nasinnyevoho materialu sonyashnyku [Mechanical and technological basis of the process of precision separation of sunflower seed material]. *Doctor's thesis*. Zaporizhzhya [in Ukrainian].
7. Jayas, D. & Cenkowski, S. (2006). Grain property values and their measurement. *Handbook of Industrial Drying*. A. P. Mujumdar(Ed.) . p. 575–603 [in English].
8. Riahi, E. & Ramaswamy, H. (2003). Structure and composition of cereal grains and legumes. *Handbook of Postharvest Technology*. P. 17–40. [in English].
9. Sablani, S.S. & Ramaswamy, H.S. (2003). Physical and thermal properties of cereal grains. *Handbook of Postharvest Technology*. P. 17–40 [in English].
10. Öztürk, T. & Esen, B. (2008). Physical and mechanical properties of barley. *Agricultura tropica et subtropica*, 41, p. 117–121 [in German].
11. Tavakoli, M., Tavakoli, H., Rajabipour, A., Ahmadi, H., Gharib-Zahedi, S.M.T. (2009). Moisture-dependent physical properties of barley grains. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. P. 84–91 [in English].
12. Sologubik, C., Campañone, L., Pagano, A., Gely, M. (2013). Effect of moisture content on some physical properties of barley. *Industrial Crops and Products*. P. 762–767 [in English].
13. Karaj, S., Müller, J. (2010). Determination of physical, mechanical and chemical properties of seeds and kernels of *Jatropha curcas*. *Industrial Crops and Products*. 2010. P. 129–138[in English].
14. Chursinov, YU. O., Kudryavtsev, I. M. & Lutsenko, M. V. (2022). Rozrobka mobil'noyi ustanovky dlya sortuvannya zernovykh vidkhodiv [Development of a mobile plant for sorting grain waste]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI». Seriya: Novi rishennya v suchasnykh tekhnolohiyakh – Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*, № 2 (12), 93-99 [in Ukrainian]
15. Naumenko, M., Sokol, S., Filipenko, D., Guridova, V. & Kharytonov, M. (2018). Numeric model of the grain mixture flow in a cylindrical sieve which re-rotates around the inclined axis. *IN-MATEH – Agricultural Engineering*, Vol. 56, No. 3, P. 67-74 [in English].
16. Heyman, J. (2019). TracTrac: a massive object tracking algorithm to measure earth surface dynamics. *Computers and Geosciences*, 128, 11-18, DOI: 10.1016/j.cageo.2019.03.007 [in English].
17. Heyman, J., Boltenhagen, P., Delannay, R. & Valance A. (2017). Experimental investigation of high speed granular flows down inclines. *EPJ Web of Conferences*, 140, 03057, 10.1051/epjconf/201714003057 [in English].

**Elchyn Aliiev**, Prof., DSc., Senior Researcher

**Kristina Lupko**, Holder of the third (educational and scientific) level of higher education

*Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine*

### **Results of Experimental Studies of the Selection and Seed Trier**

The goal is experimental substantiation of the main parameters and modes of operation of the selection and seed trier of small-seeded crops, development of the work algorithm and software of the corresponding mechatronic system.

For conducting experimental research, a laboratory selection and seed trier was developed and created. To change the rotation frequency of the cylinder and the direction of rotation, the Arduino UNO control board and the L298N DC motor driver were used. The frequency and direction of rotation of the cylinder can be controlled manually using a potentiometer and automatically using the Arduino IDE monitor port. The working body of the trier is a cylinder, which consists of plates with shells. As a result of experimental studies of the process of separation of small-seeded crops on a laboratory cylindrical shell trier, the dependences of the change in the minimum  $\theta_{min}$  and maximum  $\theta_{max}$  angles of seed exit from the cylinder shell of the trier on the mass of the seed material  $M_0$ , the rotation frequency of the cylinder  $n$  and the content of impurities  $f_0$  were obtained.

The resulting dependencies are fed into the mechatronic control system software, which allows the position of the seed tray to be adjusted as a result of servo control.

**seed, impurities, purification, separation, separation, trier, parameters, control, mechatronic system, seed, efficiency**

*Одержано (Received) 23.05.2023*

*Прорецензовано (Reviewed) 26.05.2023*

*Прийнято до друку (Approved) 29.05.2023*