

Зміст

Обґрунтування способу інтенсифікації процесу сепарації насінневих матеріалів на решетах	2
Дослідження впливу основних параметрів технологічного процесу сепарації насінневих сумішей ріпаку на ефективність розділення.....	7
Оптимізація параметрів розділення насінневих сумішей ріпаку на решетах	18
Висновки	32
Список використаної літератури	34

ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ НАСІННЄВИХ МАТЕРІАЛІВ НА РЕШЕТАХ

Робочий процес розділення насіннєвих сумішей на рухомих решітних поверхнях включає послідовне виконання трьох взаємопов'язаних етапів: відносне переміщення вихідної суміші по сепаруючій поверхні, сегрегацію (самосортування) суміші і просіювання компонентів через отвори решета. Багато в чому ефективність процесу розділення визначається саме характером руху і швидкістю переміщення матеріалу по поверхні решета. Слід відмітити, що швидкість руху матеріалу з однієї сторони визначає продуктивність процесу сепарації і, очевидно, що збільшення швидкості призводить до збільшення продуктивності, але з іншого боку збільшення швидкості на певному рівні спричиняє погіршення умов просіювання компонентів через отвори решіт. Відомо, що для кожного режиму руху сепаруючої решітної поверхні і конкретного зернового матеріалу існує гранична швидкість руху матеріалу V_r . Подальше збільшення швидкості виключає можливість просіювання компонентів через отвори решета, тобто процес розділення стає неможливим, відбувається лише транспортування матеріалу по сепаруючій поверхні.

Зменшення швидкості призводить не лише до зменшення продуктивності, а й знижує якість розділення компонентів, адже збільшення товщини шару матеріалу на решеті знижує сегрегацію компонентів суміші, а значить і просіювання компонентів через отвори решета.

Оптимальний для розділення кінематичний режим коливань при роботі решіт визначається показником кінематичного режиму k , який характеризує співвідношення амплітуди та частоти коливань решета і дорівнює:

$$k = \frac{A \cdot \omega^2}{c \cdot g},$$

де A – амплітуда коливань решітного стану, мм; ω – кутова частота коливань решітного стану, рад/с; g – прискорення вільного падіння, мм/с²; c – коефіцієнт, що враховує коливання рами машини і залежить від ступеню зрівноваженості та прискорення решета.

Цей показник залежить від виду насінневої суміші, кута нахилу решета до горизонту, кута спрямованості коливань, завантаження, а також від типу решета, форми і розміру його отворів. При цьому кут спрямованості коливань визначається за формулою:

$$\varepsilon = \alpha - \beta,$$

де α – кут нахилу решета решітного стану до горизонту, град; β – кут між основою рами та напрямком підвіски робочої площини, град.

Слід відмітити, що оптимальний режим коливань для різних сумішей не співпадає. Більш того, для різних складових однієї суміші оптимальний режим має відрізнятися. Адже для забезпечення переміщення крупних фракцій по решету (збільшення продуктивності) необхідно більш інтенсивний режим, ніж для дрібних. Для переміщення округлих часток оптимальним буде більш помірний режим в порівнянні з плоскими частками. Для просівання компонентів проходової фракції через круглі отвори решіт режим коливань повинен бути більш інтенсивним, щоб забезпечити додаткову сегрегацію матеріалу.

Режим коливань решітного стану, зазвичай, створюється за рахунок зміни амплітуди та частоти коливань, кута нахилу робочої поверхні до горизонту та кута спрямованості коливань.

Відповідно до способів розділення, які реалізовані у існуючих конструкціях зерноочисних машин, вихідний матеріал поступає на сепарувальні решітні поверхні з початковою швидкістю V_n . Регулюючи подачу вихідного матеріалу та режим коливань решітного стану, забезпечують таку швидкість руху насіння по решеті, при якій досягається оптимальне розділяється його на дві фракції: проходову – частинки за розмірами менші отворів решіт і сходову – частинки більші отворів решіт, які після розділення надходять до відповідних приймачів.

Кожний з цих способів створення оптимального режиму підвищує якість розділення і продуктивність процесу сепарації при розділенні лише на одному решеті для різних сипких матеріалів.

При необхідності послідовного розділення матеріалу на декількох робочих поверхнях, які змонтовані в одній конструкції решітного стану, режим коливання

для всіх решіт буде однаковий. Очевидно, що оптимальним цей режим буде лише для розділення на одному з цих решіт в залежності від компонентів суміші, які сепаруються, або за умов паралельного розділення при роботі декількох решіт, коли на кожне з цих решіт подається вихідний матеріал і відводяться продукти сепарації. Це, в кінцевому випадку, погіршує якість розділення матеріалу в цілому і не дозволяє в повній мірі використати поділяючу здатність поверхонь решіт решітного стану.

Головною задачею досліджень є інтенсифікувати процес сепарації сипких матеріалів на решетах шляхом забезпечення оптимального режиму коливань для кожного решета решітного стану. Це дозволить підвищити якість розділення сипких матеріалів і збільшити продуктивність багаторешітних сепараторів в цілому.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що у відомому способі інтенсифікації процесу сепарації сипких матеріалів на решетах, який включає подачу вихідного матеріалу на решета, створення режиму коливань решітного стану оптимального для розділення та відведення продуктів сепарації, у відповідності до запропонованої схеми модифікації сепаратора режим коливань створюється відмінним для кожного решета решітного стану за рахунок зміни кута їх установки відносно напрямку дії збуджуючої сили.

Запропонований спосіб можна реалізувати за допомогою відомих решітних зерноочисних машин, якщо в конструкціях їх решітних станів передбачити пристрій для зміни кута установки кожного решета окремо відносно напрямку дії збуджуючої сили.

Сутність запропонованої модифікації сепаратора пояснюється кресленням (рис. 1).

Реалізувати запропонований спосіб можна на багаторешітному стані 1 сепаратора, який складається, наприклад, з двох решіт: верхнє решето 2 - з прямокутними отворами та нижнє решето 3 - з круглими отворами. Кути нахилу решіт решітного стану при цьому становлять: α_1 - для верхнього решета та α_2 - для нижнього решета, причому $\alpha_1 \neq \alpha_2$. Кути спрямованості коливань для верхнього та нижнього решіт відповідно дорівнюють ε_1 та ε_2 .

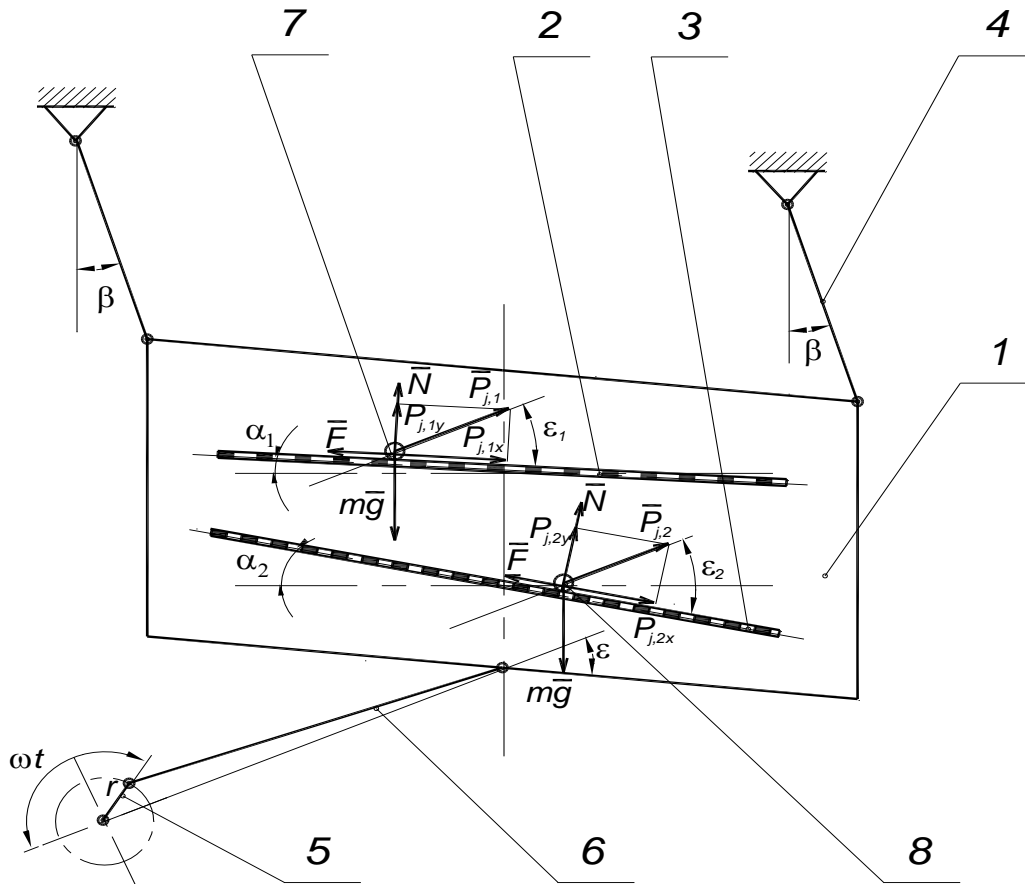


Рисунок 1 – Схема дії сил на частки, що розміщені на двох решетах багаторешітного стану, який забезпечує реалізацію запропонованого способу: 1 – багаторешітний стан; 2 – решето з прямокутними отворами; 3 – решето з круглими отворами; 4 – підвіска решітного стану; 5 – ексцентрик; 6 – шатун; 7, 8 – часточки

Решітний стан монтується на підвісках 4, кут нахилу яких до вертикальної площини становить β .

Привід решітного стану здійснюється від ексцентрика 5 радіусом r шатуном 6. Кут повертання ексцентрика відносно лінії мертвих точок дорівнює ωt .

При розділенні вихідного сипкого матеріалу, на кожну насінину (в подальшому - частку) 7 та 8 суміші, які розміщені на верхньому 2 та нижньому 3 решеті відповідно, діють сила ваги mg , реакція опорної поверхні N , сила тертя F часток по робочій площині та відносно одна одної, а також сила інерції (збуджуюча сила) P_j , яка визначається як:

$$P_j = mA\omega^2 \sin(\omega t),$$

де m – маса частки, г; ωt – кут повороту ексцентрика відносно лінії мертвих точок, рад.

Для створення різних режимів коливань верхнього та нижнього решіт решітного стану кут нахилу робочої поверхні до горизонту α необхідно встановлювати окремо для кожного решета та для кожного вихідного матеріалу. При цьому проєкції сили інерції на робочу площину та площину, що перпендикулярна до неї становлять:

$$P_{j,ix} = mA_x \omega^2 \sin(\omega t) \cos \varepsilon_i;$$

$$P_{j,iy} = mA_y \omega^2 \sin(\omega t) \sin \varepsilon_i,$$

де i – показник, що характеризує положення робочої площини над горизонтом: для верхнього решета - $i = 1$; для нижнього решета - $i = 2$.

Для верхнього решета будемо мати:

$$P_{j,1x} = mA_x \omega^2 \sin(\omega t) \cos(\alpha_1 - \beta);$$

$$P_{j,1y} = mA_y \omega^2 \sin(\omega t) \sin(\alpha_1 - \beta),$$

а для нижнього решета:

$$P_{j,2x} = mA_x \omega^2 \sin(\omega t) \cos(\alpha_2 - \beta);$$

$$P_{j,2y} = mA_y \omega^2 \sin(\omega t) \sin(\alpha_2 - \beta).$$

Рух насіння по решетах зерноочисних машин залежить від ознаки розділення. При розділенні довгастих насінин по товщині, що здійснюється на решетах з прямокутними отворами, матеріал рухається без надмірного підкидання (сегрегація матеріалу при цьому є помірною), а частки проходової фракції, повертаючись навколо своєї поздовжньої осі, просіваються через отвори решіт. Відривання матеріалу в цьому випадку суттєво зменшує продуктивність решіт. Для створення такого режиму горизонтальну складову збуджуючої сили $P_{j,1x}$ збільшують, а вертикальну - $P_{j,1y}$, відповідно, зменшують за рахунок зменшення кута α_1 нахилу решета до горизонту.

При розділенні по ширині на решетах з круглими отворами необхідно забезпечити додаткове підкидання матеріалу (тобто збільшити вертикальну складову сили $P_{j,2y}$, яка діє на матеріал, що переміщується по решеті, за рахунок

збільшення кута α_2) для того, щоб частки проходимої фракції розміщувалися своєю поздовжньою віссю перпендикулярно до робочої поверхні. Це, в свою чергу, покращує їх прохід крізь отвори решіт [1].

Відповідно до зазначеного вище, оптимальний режим буде відповідати умові:

$$\alpha_1 < \alpha_2.$$

В цьому випадку на верхньому решеті решітного стану сегрегація матеріалу буде відносно малою і надмірного відриву часток від робочої поверхні не спостерігатиметься, а швидкість транспортування - дещо підвищеною; на нижньому ж решеті, – навпаки: швидкість транспортування – помірною, а підкидання і сегрегація – збільшеними.

Таким чином, регулюючи лише величину кута нахилу окремого решета є можливість створити оптимальний режим коливань кожного решета в решітному стані для розділення кожної насінневої суміші на фракції, що інтенсифікує процес сепарації сумішей сипких матеріалів на решітних станах зерноочисних машин.

Таким чином, запропонований спосіб інтенсифікації процесу сепарації сипких матеріалів на решетах шляхом забезпечення оптимального режиму коливань для кожного решета решітного стану дозволить підвищити якість розділення сипких матеріалів і збільшить продуктивність багаторешітних сепараторів в цілому.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ НАСІННЄВИХ СУМІШЕЙ РІПАКУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗДІЛЕННЯ

Насіння проса курячого, мишію сизого та зеленого в насінневих сумішах різних сільськогосподарських культур відносяться до важковідокремлюваних бур'янів [2]. Наявність цих домішок в дрібнонасінневих сумішах ріпаку суттєво ускладнює процес отримання кондиційного насіння основної культури на плоских решетах, які встановлюються в тихохідних коливних решітних станах зерноочисних машин [3].

Дослідження впливу зміни параметрів на процес сепарації виконували для насінневої суміші ярого ріпаку сорту Каргілл першої репродукції, урожаю 2019 р.,

засміченого насінням проса курячого та мишію сизого. Насіння основної культури в даній суміші становило 87,03%, а насіння бур'янів – 12,97%: проса курячого – 2,21% (360 шт/кг), а мишію сизого – 4,38% (1025 шт/кг). Вологість вихідного матеріалу 10,5%.

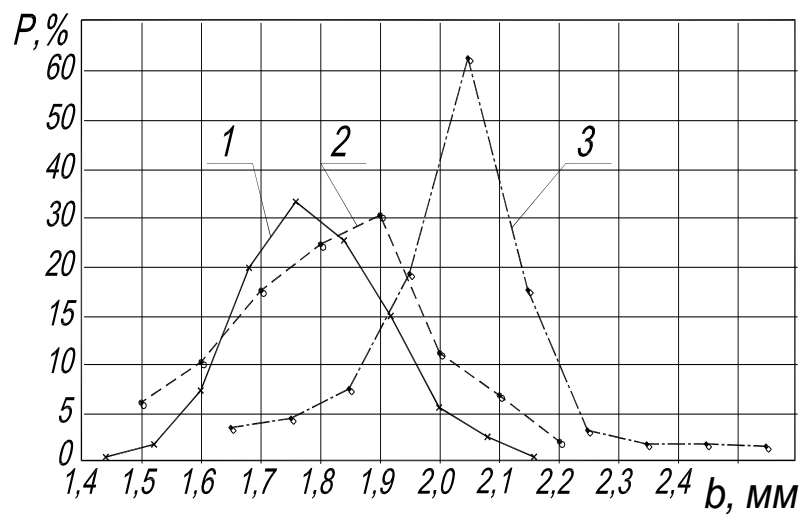
Для визначення можливості розділення зазначеної насінневої суміші за розмірами досліджені їхні розмірні характеристики.

Дослідження зміни ширини насіння проса курячого, мишію сизого та ріпаку (рис. 2 а) показують, що варіаційні криві їх розподілу практично повністю накладаються. Тому, використання решіт з круглими отворами для очищення насіння ріпаку від проса курячого та мишію сизого є неефективним. Проте, слід зазначити, що на решетах з круглими отворами Ø2,2 мм (рис. 2 а) у сходову фракцію можна відокремити більше 16% самого крупного насіння мишію сизого без втрат основної культури.

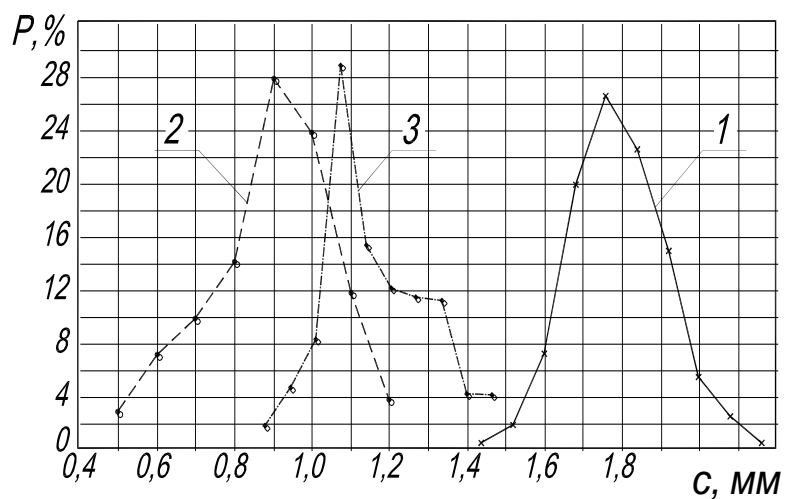
Аналізуючи варіаційні криві товщини насіння (рис. 2 б), бачимо, що криві зміни товщини насіння проса курячого та мишію сизого майже не перекривають варіаційну криву насіння ріпаку. Тому, на решетах з прямокутними отворами шириною 1,5 мм є можливість повністю відокремити насіння бур'янів у проходову фракцію. Втрати насіння ріпаку при цьому можуть становити до 2%. Причому, в проходову фракцію просипиться лише дрібне насіння ріпаку з низькою масою 1000 шт.

Насіння проса курячого можна відокремлювати в проходову фракцію без втрат насіння ріпаку за рахунок використання решіт з прямокутними отворами шириною 1,3 – 1,4 мм.

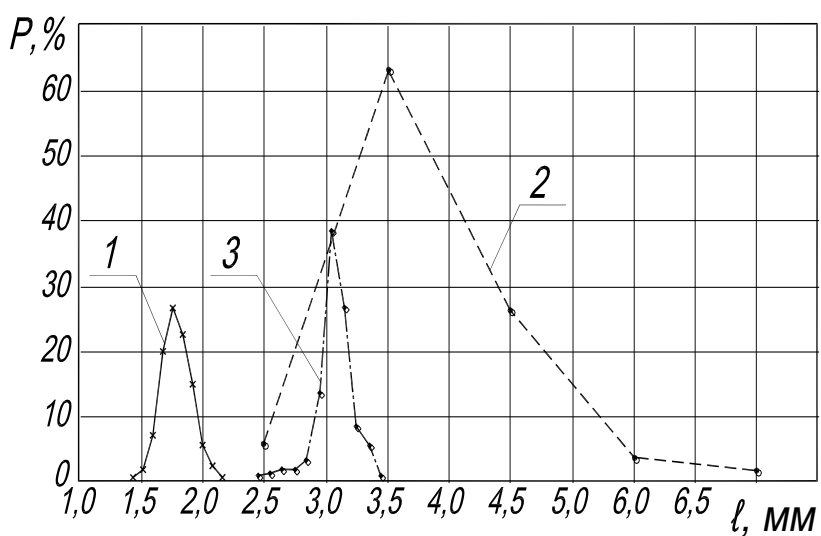
Слід відмітити, що товщина насіння проса курячого та мишію сизого значно менша за їхню ширину. Тому, для просівання цього насіння через прямокутні отвори воно повинно мати умови для повертання навколо поздовжньої крайки отворів, що не завжди вдається забезпечити на плоских тихохідних коливних решетах.



а



б



в

Рис. 2 – Варіаційні криві розподілу розмірних характеристик насіння ріпаку 1, проса курячого 2, мишію сизого 3 за: а – шириною; б – товщиною; в – довжиною

Довжина насіння проса курячого та мишію сизого більша за довжину насіння ріпаку (рис. 2 в), тому в трієрних циліндрах з діаметром комірок 2,3 мм можна повністю відокремити сходом з циліндра насіння бур'янів. Проте, слід зауважити, що значну частину довжини насіння проса курячого складає плодоніжка, тоді при потраплянні в комірку циліндра вершиною воно може виноситися циліндром до жолоба разом з насінням основної культури.

Таким чином, відокремлення насіння проса курячого та мишію сизого з насіннєвих сумішей ріпаку найбільш ефективно можна виконати на решетах з прямокутними отворами шириною 1,5 мм. Повнота розділення суміші ріпаку залежить від величини подачі (товщини шару оброблюваного матеріалу на решеті) та режиму коливань.

Дослідження процесу сепарації виконувалися на дослідній установці з одним плоским решетою. При виконанні досліджень використовували решето з прямокутними отворами шириною 1,5 мм, яке закріплювалося в решітному стані дослідної установки з можливістю зміни поздовжнього кута його нахилу в межах від 0 до 15° . Решітний стан приводився в рух ексцентриковим механізмом з ексцентриситетом 9,0 мм, що відповідає амплітуді коливань решітного стану – 18,0 мм. Частота коливань решітного стану змінювалася від 0 до $60,0 \text{ c}^{-1}$. Кут спрямованості коливань становив $8,0^{\circ}$.

Результати досліджень впливу подачі вихідного матеріалу на плоске решето з прямокутними отворами шириною 1,5 мм та поздовжнім напрямком руху матеріалу, наведені на рисунках 3 – 5.

Якість роботи решета оцінювали за виходом очищеної фракції W , втратами насіння основної культури B у проходовій фракції, засміченістю очищеної фракції η , вмістом насіння основної культури m_k у сходовій фракції, масою 1000 насінин основної культури сходової фракції m_{gdfs} та середньою швидкістю переміщення насіння по решету $V_{\text{e,md}}$ (рис. 3). Ефективність очищення (рис. 4) визначали за повнотою відокремлення домішок у проходову фракцію (відходи) – $P_{\text{д,ф}}$, $P_{\text{д,інт}}$.

Питома подача q_B вихідного матеріалу, що припадає на кожен дециметр ширини решета, змінювалася від 3,37 до 20,1 кг/(год·дм). Як бачимо з графіків

(рис. 3), величина кожного з критеріїв оцінки якості роботи решета суттєво залежить від величини подачі вихідного матеріалу. Причому, вихід очищеної фракції W , так само як і вміст насіння основної культури m_k у сходовій фракції, при малих подачах – менший за рахунок більш сприятливих умов для просівання прохідової фракції через отвори решета.

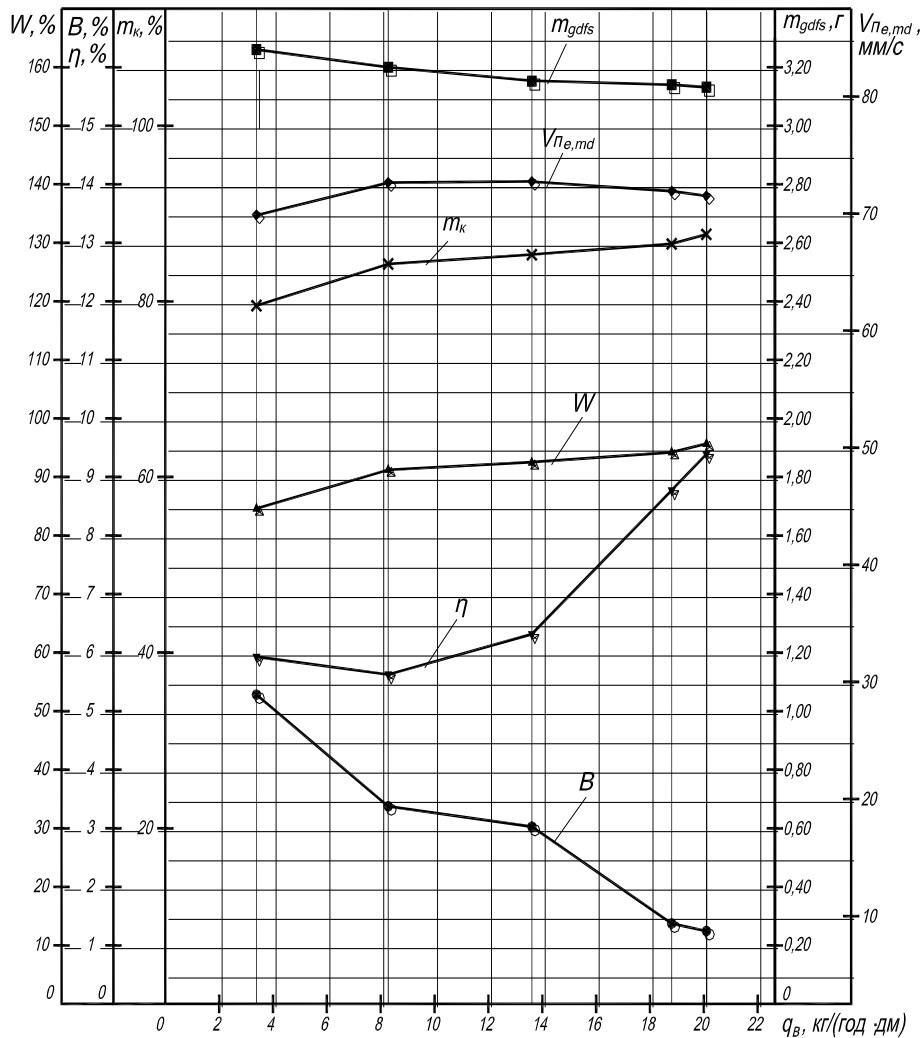


Рис. 3 – Вплив питомої подачі q_B вихідного матеріалу, при сепарації насінневої суміші ріпаку на решеті з прямокутними отворами шириною 1,5 мм за частоти коливань решітного стану – $\omega = 36,63 \text{ c}^{-1}$, амплітуди коливань – $A = 18,0 \text{ мм}$, кута спрямованості коливань – $\varepsilon = 8,0^0$ та поздовжнього кута нахилу решета – $\alpha_{\text{позд}} = 5,5^0$, на: W – вихід очищеної фракції; B – втрати насіння ріпаку у прохідовій фракції; η – засміченість очищеної фракції; m_k – вміст насіння ріпаку у сходовій фракції; m_{gdfs} – масу 1000 насінин ріпаку сходової фракції; $V_{\Pi e, md}$ – середню експериментальну швидкість переміщення насіння по решету

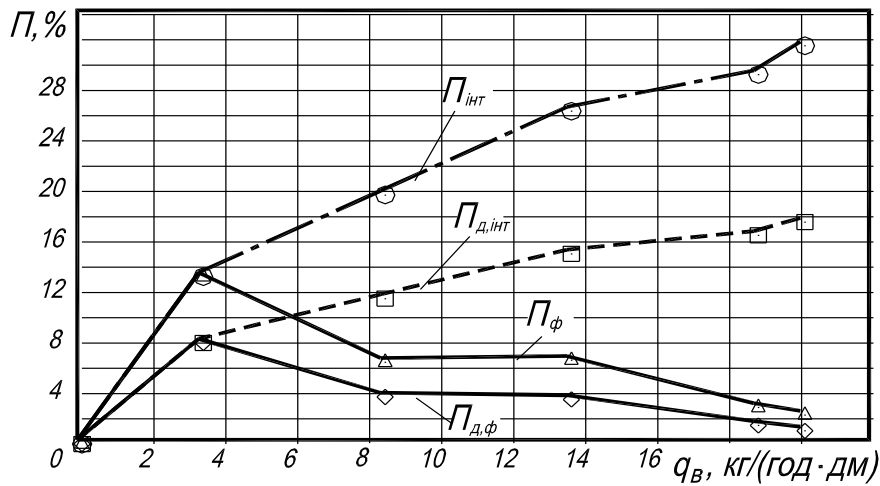


Рис. 4 – Вплив питомої подачі q_B вихідного матеріалу, при сепарації насінневої суміші ріпаку на решеті з прямокутними отворами шириною 1,5 мм за частоти коливань решітного стану – $\omega = 36,63 \text{ с}^{-1}$, амплітуди коливань – $A = 18,0 \text{ мм}$, кута спрямованості коливань – $\varepsilon = 8,0^\circ$ та поздовжнього кута нахилу решета – $\alpha_{\text{позд}} = 5,5^\circ$, на характеристики просівання проходової фракції (P): $P_{\text{д,ф}}$ – фактичний вихід домішок у прохід; $P_{\text{ф}}$ – фактичний вихід матеріалу у прохід; $P_{\text{д,інт}}$ – інтегральний вихід домішок у прохід; $P_{\text{інт}}$ – інтегральний вихід матеріалу у прохід

Із збільшенням подачі зростає товщина шару матеріалу на решеті і просівання матеріалу – знижується. Це призводить до того, що маса 1000 насінин основної культури, із збільшенням подачі, знижується, адже кількість насіння основної культури, яке просівається через решето (втрати B ріпаку в проходовій фракції), зменшується. Слід також відмітити, що із збільшенням подачі зменшується просівання і домішок $P_{\text{д,ф}}$ (рис. 4), що підвищує засміченість η очищеного матеріалу (рис. 3).

Дещо підвищена засміченість очищеного матеріалу при малих подачах пояснюється більш інтенсивним просіванням насіння основної культури.

Аналіз просівання проходової фракції по довжині решета (рис. 5) показує, що характер просівання насіння основної культури і домішок – подібний. Причому, він є більш інтенсивний на перших ділянках решета, і знижується лише на його кінцевому відрізку. Слід відмітити, що на перших ділянках решета, просівається насіння менших розмірів, про що свідчить плавне зростання кривої, яка характеризує масу 1000 насінин основної культури, що просівається.

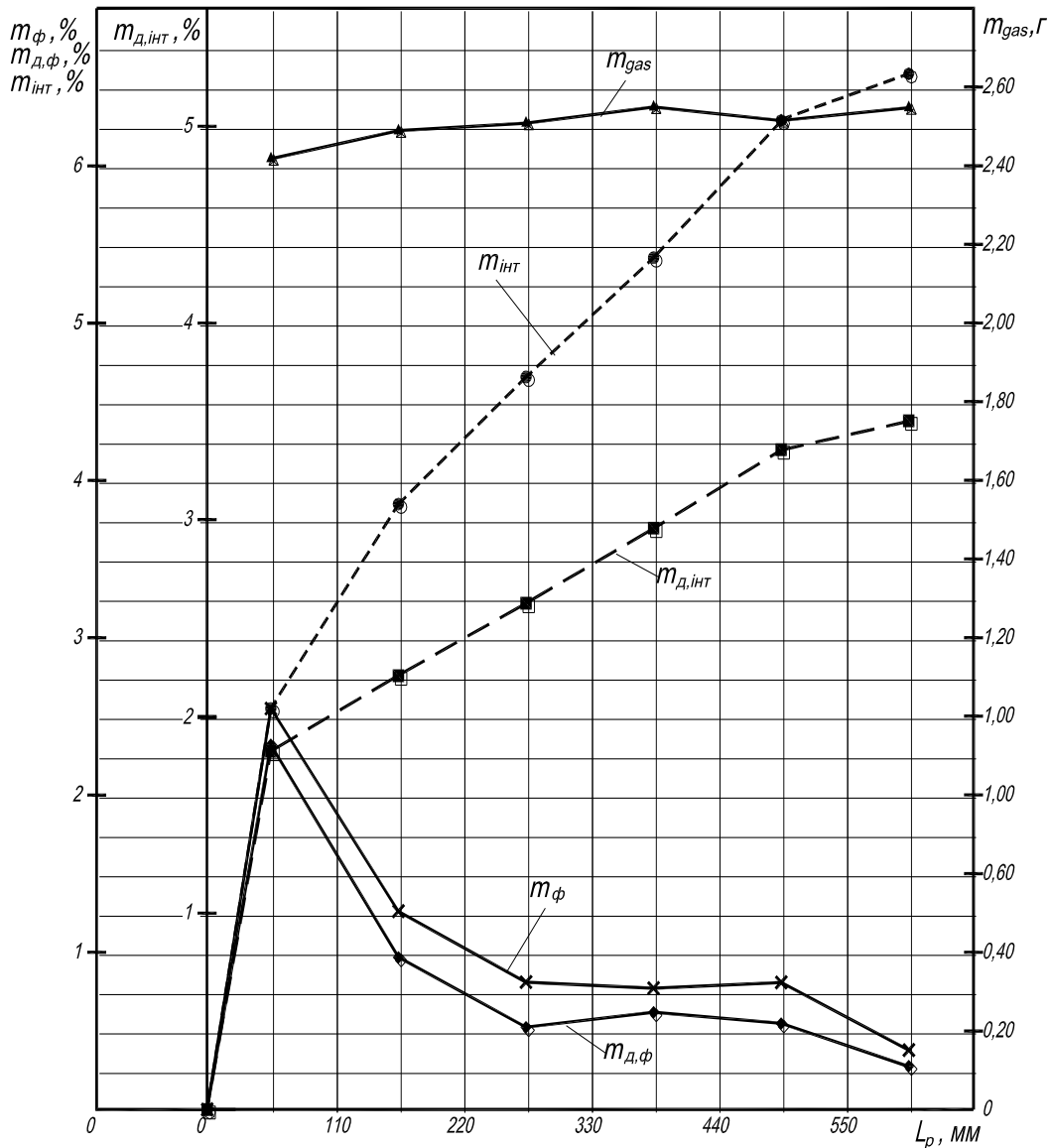


Рис. 5 – Характеристики просівання насіння прохідної фракції по довжині решета L_p з прямокутними отворами шириною 1,5 мм, при сепарації суміші ріпаку за подачі вихідного матеріалу – $q_B = 13,6$ кг/(год·дм), частоти коливань решітного стану – $\omega = 36,63$ с⁻¹, амплітуди коливань – $A = 18,0$ мм, кута спрямованості коливань – $\varepsilon = 8,0^\circ$ та поздовжнього кута нахилу решета – $\alpha_{позд} = 5,5^\circ$, на: m_{ϕ} – фактичну масу матеріалу у прохідній фракції; $m_{д,\phi}$ – фактичну масу домішок у прохідній фракції; $m_{інт}$ – інтегральну масу матеріалу у прохідній фракції; $m_{д,інт}$ – інтегральну масу домішок у прохідній фракції; $m_{газ}$ – масу 1000 насінин основної культури прохідної фракції

Дослідження процесу переміщення матеріалу по решету показали, що при малих подачах матеріалу, швидкість його переміщення дещо нижча за рахунок неповного заповнення поверхні решета. При подачах $q_B = 8,43 \div 13,6$ кг/(год·дм) матеріал повністю заповнює поверхню решета, що забезпечує достатньо якісне

очищення насінневої суміші та високу продуктивність машини в цілому. Подальше збільшення питомої подачі q_B призводить до нагромадження матеріалу на решеті, в результаті чого середня швидкість переміщення насіння дещо зменшується, а ефективність очищення – інтенсивно знижується (рис. 3). Тому подальші дослідження впливу інших параметрів виконували при подачі матеріалу на решето $q_B = 13,6$ кг/(год·дм).

Результати досліджень впливу частоти коливань решітного стану ω на ефективність розділення насінневої суміші ріпаку наведені на рисунках 6 та 7 і в таблицях 6 – 10.

Аналізуючи результати зміни характеристик сходової фракції (рис. 6) бачимо, що за порівняно малих частот коливань решітного стану ($\omega = 23,55 \div 26,17$ с⁻¹) товщина шару матеріалу на решеті поступово зростає і умови просівання компонентів насінневої суміші у проходову фракцію на цих режимах погіршуються. Тому при малих частотах вихід W очищеної (сходової) фракції є відносно великим, але засміченість її залишається занадто високою. Незважаючи на те, що маса (вміст насіння) основної культури m_k в сходовій фракції на початку діапазону зміни частот є дещо збільшеною, маса 1000 насінин m_{gdfs} ріпаку – порівняно низька.

Із збільшенням частоти коливань решітного стану зростає середня експериментальна швидкість переміщення матеріалу $V_{пe, md}$, завдяки чому зменшується товщина шару матеріалу на решеті, та покращуються умови для розділення компонентів насінневої суміші. Це підтверджується зменшенням засміченості η очищеної фракції та зростанням маси 1000 насінин m_{gdfs} основної культури. Але при цьому збільшуються втрати B насіння основної культури, яке просівається у прохід, та зменшується вихід очищеної фракції W , в тому числі, і маса насіння основної культури m_k в ній.

Оптимальною, з точки зору повноти розділення компонентів суміші, є частота коливань решітного стану $\omega = 36,63$ с⁻¹. Подальше збільшення цього параметра призводить до зростання засміченості η сходової фракції через погіршення умов просівання часток у проходову фракцію крізь отвори решета, що обумовлюється зростанням середньої швидкості переміщення $V_{пe, md}$ матеріалу по решету.

Це підтверджується зменшенням втрат B основного насіння в проходовій фракції та збільшенням виходу W очищеної фракції, а також вмістом в ній насіння основної культури m_k . При цьому маса 1000 насінин m_{gdfs} у сходовій фракції зменшується.

Із аналізу впливу частоти коливань на величину проходової фракції (рис. 7) бачимо, що її характер є протилежним зміні просівання насіння через отвори решета. При малих частотах коливань – величина проходової фракції незначна, а із збільшенням

параметра – вона зростає, причому найбільше її значення отримане при частоті $\omega = 36,63 \text{ c}^{-1}$.

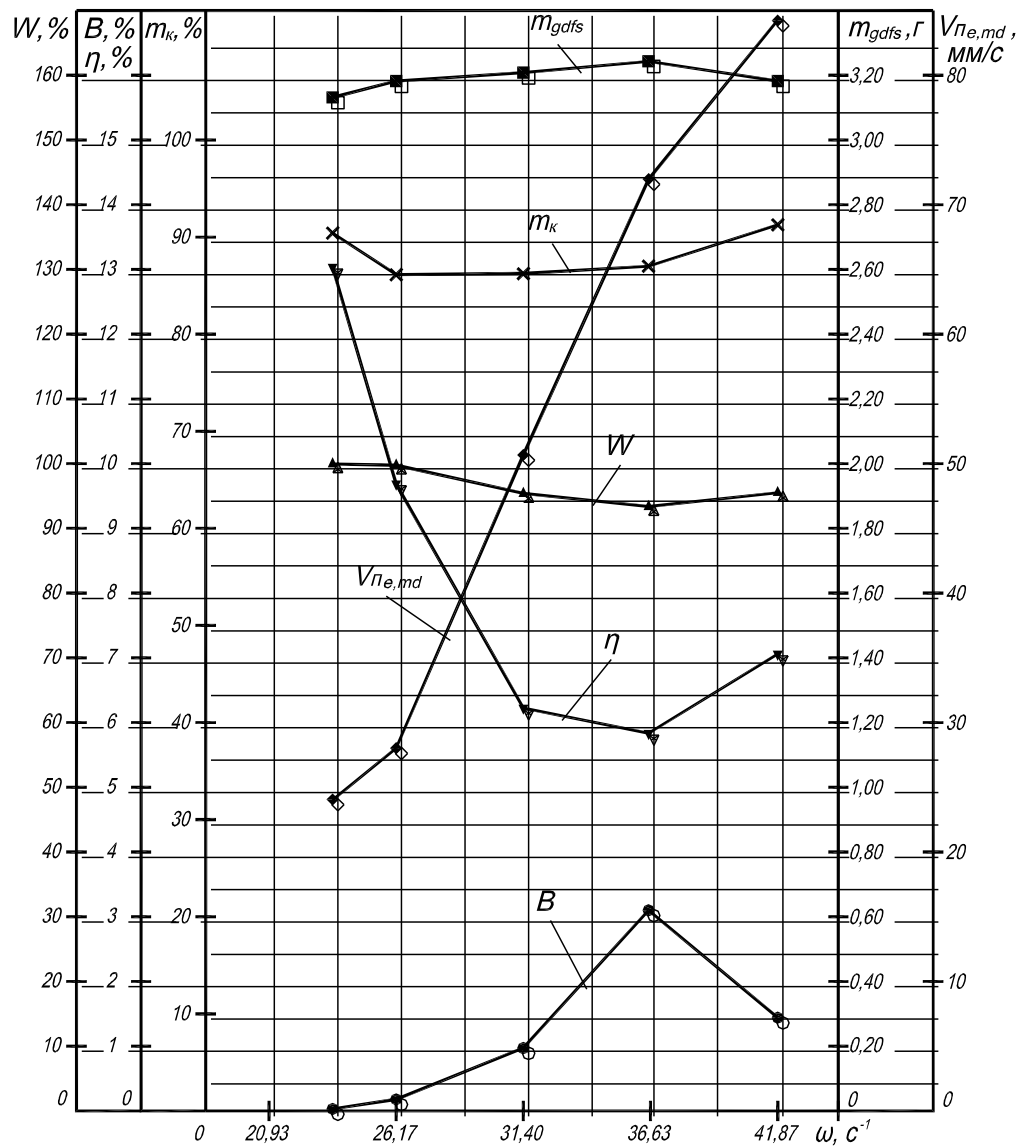


Рис. 6 – Вплив частоти коливань решітного стану ω , при сепарації насіннєвої суміші ріпаку на решеті з прямокутними отворами шириною 1,5 мм за подачі вихідного матеріалу – $q_B = 13,6 \text{ кг}/(\text{год} \cdot \text{дм})$, амплітуди коливань – $A = 18,0 \text{ мм}$, кута спрямованості коливань – $\varepsilon = 8,0^0$ та поздовжнього кута нахилу решета – $\alpha_{\text{позд}} = 5,5^0$, на: W – вихід очищеної фракції; B – втрати насіння ріпаку у проходовій фракції; η – засміченість очищеної фракції; m_k – вміст насіння ріпаку у сходовій фракції; m_{gdfs} – масу 1000 насінин ріпаку сходової фракції; $V_{пe,md}$ – середню експериментальну швидкість переміщення насіння по решету

Результати досліджень впливу поздовжнього кута нахилу $\alpha_{\text{позд}}$ решета на якість сепарації насіння ріпаку наведено на рисунках 8 та 9.

Аналіз результатів досліджень (рис. 8) вказує на суттєвий вплив нахилу решета на ефективність розділення насінневої суміші ріпаку.

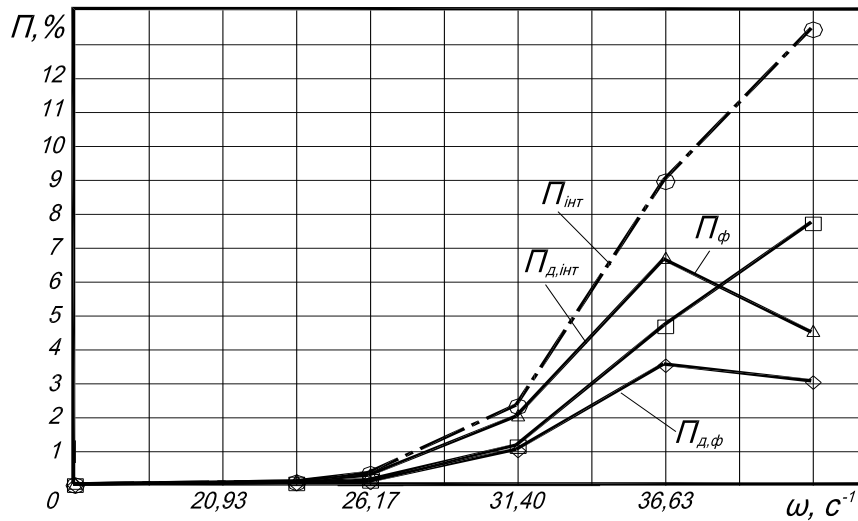


Рис. 7 – Вплив частоти коливань решітного стану ω , при сепарації насінневої суміші ріпаку на решеті з прямокутними отворами шириною 1,5 мм за подачі вихідного матеріалу – $q_B = 13,6 \text{ кг}/(\text{год} \cdot \text{дм})$, амплітуди коливань – $A = 18,0 \text{ мм}$, кута спрямованості коливань – $\varepsilon = 8,0^\circ$ та поздовжнього кута нахилу решета – $\alpha_{\text{позд}} = 5,5^\circ$, на характеристики просівання проходової фракції (Π): $\Pi_{\text{д,ф}}$ – фактичний вихід домішок у прохід; $\Pi_{\text{ф}}$ – фактичний вихід матеріалу у прохід; $\Pi_{\text{д,інт}}$ – інтегральний вихід домішок у прохід; $\Pi_{\text{інт}}$ – інтегральний вихід матеріалу у прохід

При встановленні решета горизонтально, тобто коли $\alpha_{\text{позд}} = 0^\circ$, навіть при частоті коливань решітного стану $\omega = 36,63 \text{ с}^{-1}$, швидкість руху матеріалу $V_{\text{п,мд}}$ – незначна. Це призводить до збільшення товщини шару матеріалу на решеті, чим погіршуються умови проходження компонентів суміші через отвори решета. Як підтвердження цього, – висока засміченість η сходової фракції (рис. 8) та мінімальний вихід домішок у прохід $\Pi_{\text{д,ф}}$ (рис. 9).

Із збільшенням кута $\alpha_{\text{позд}}$ – просівання компонентів суміші зростає. Причому максимальне просівання матеріалу $\Pi_{\text{ф}}$ у прохід досягається при $\alpha_{\text{позд}} = 1,0^\circ$, а для насіння важковідокремлюваних бур'янів: проса курячого та мишію сизого – при $\alpha_{\text{позд}} = 2,5^\circ$, – тобто саме при такому положенні решета створюються найбільш сприятливі умови для повертання насіння навколо поздовжніх крайок отворів решета і проходження крізь них.

Таким чином, встановлення кута нахилу в межах $1,0\text{-}2,5^\circ$ забезпечує найкращу повноту розділення насінневої суміші ріпаку. Але при цьому, і загальна маса очищеного

матеріалу W , і вміст насіння основної культури m_k в очищеній фракції, дещо зменшуються. При цьому слід зазначити, що втрати B насіння ріпаку у проходовій фракції і маса 1000 насінин основної культури m_{gdfs} очищеної фракції при $\alpha_{\text{позд}} = 1,0^\circ$ є найбільшими.

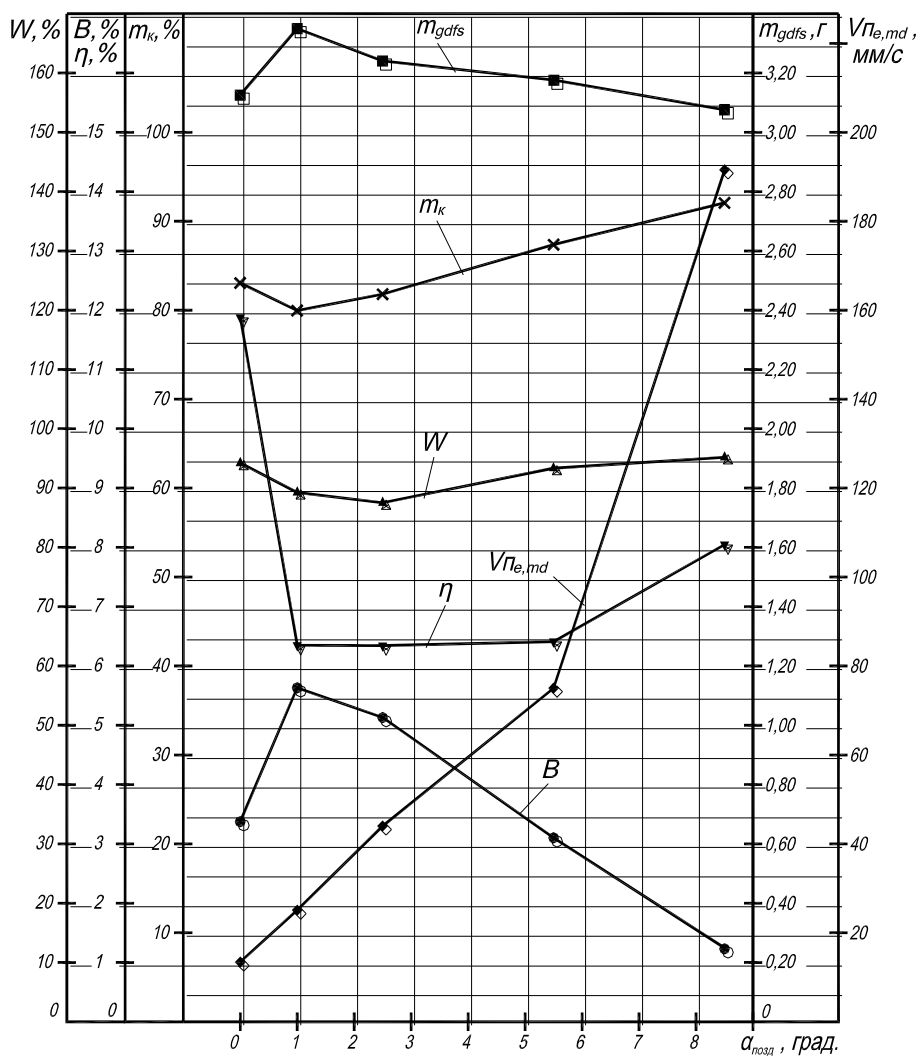


Рис. 8 – Вплив поздовжнього кута нахилу решета $\alpha_{\text{позд}}$, при сепарації насінневої суміші ріпаку на решеті з прямокутними отворами шириною 1,5 мм за питомої подачі вихідного матеріалу – $q_B = 13,6$ кг/(год·дм), частоти коливань решітного стану – $\omega = 36,63$ с⁻¹, амплітуди коливань – $A = 18,0$ мм, та кута спрямованості коливань – $\varepsilon = 8,0^\circ$, на: W – вихід очищеної фракції; B – втрати насіння основної культури у проходовій фракції; η – засміченість очищеної фракції; m_k – вміст насіння основної культури у сходовій фракції; m_{gdfs} – масу 1000 насінин основної культури сходової фракції; $V_{\text{пe,md}}$ – середню експериментальну швидкість переміщення насіння по решету

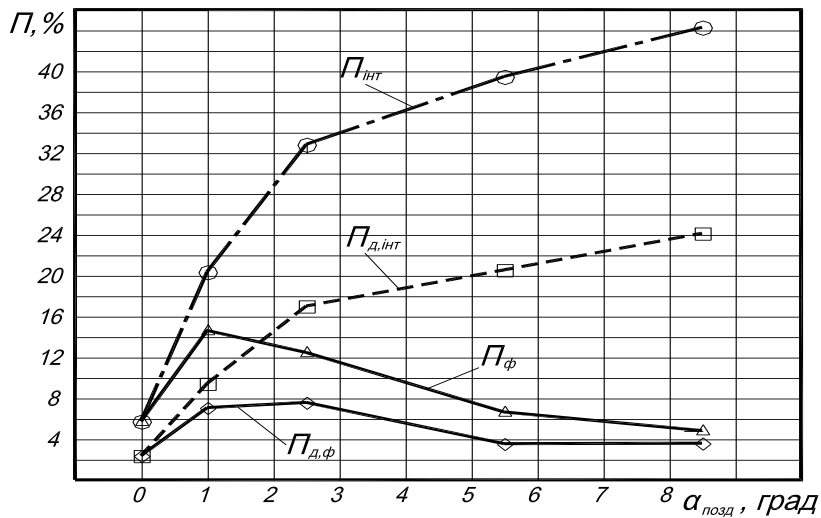


Рис. 9 – Вплив поздовжнього кута нахилу решета $\alpha_{\text{позд}}$, при сепарації насінневої суміші ріпаку на решеті з прямокутними отворами шириною 1,5 мм за питомої подачі вихідного матеріалу – $q_B = 13,6 \text{ кг}/(\text{год} \cdot \text{дм})$, частоти коливань решітного стану – $\omega = 36,63 \text{ с}^{-1}$, амплітуди коливань – $A = 18,0 \text{ мм}$ та кута спрямованості коливань – $\varepsilon = 8,0^\circ$, на характеристики виділення проходової фракції (Π): $\Pi_{\text{д,ф}}$ – фактичний вихід домішок у прохід; $\Pi_{\text{ф}}$ – фактичний вихід матеріалу у прохід; $\Pi_{\text{д,інт}}$ – інтегральний вихід домішок у прохід; $\Pi_{\text{інт}}$ – інтегральний вихід матеріалу у прохід

Подальше збільшення нахилу решета ($\alpha_{\text{позд}} > 2,5^\circ$) суттєво підвищує швидкість переміщення матеріалу $V_{\text{пe,md}}$ по решету, чим погіршує умови його сепарації. Як наслідок, маємо значне зростання засміченості η насіння очищеного матеріалу, особливо після $\alpha_{\text{позд}} = 5,5^\circ$.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗДІЛЕННЯ НАСІННЄВИХ СУМІШЕЙ РІПАКУ НА РЕШЕТАХ

Аналіз виконаних досліджень показує, що на якість процесу сепарації насіння на решетах найбільш суттєво впливають: розміри отворів решіт, величина подачі вихідного матеріалу, частота коливань решітного стану та кут поздовжнього нахилу решіт [4 – 6].

При визначенні впливу кожного з зазначених факторів на процес сепарації насінневої суміші ріпаку, та оптимального їх співвідношення використаний метод планування багатфакторного експерименту [7, 8].

Для опису поверхні області оптимуму результатів дії цих факторів було прийняте рототабельне центрально-композиційне планування Бокса для трьохфакторного експерименту другого рівня. В якості критеріїв оптимізації процесу очищення прийняті: вихід W очищеного матеріалу у сходову фракцію та засміченість η очищеної (сходової) фракції. Матриці планування експериментів, реалізовані для відповідних критеріїв ефективності у 3-хкратній повторності, наведені у таблицях 1 та 2. При цьому розмір вибірки для випадкових величин η та W дорівнює $N=20$.

Позначення, наведені в таблицях 1 і 2, характеризують дійсні значення факторів, які аналізуються: $x_{1,д}$ – питому подачу вихідного матеріалу, q_B (кг/(год·дм)); $x_{2,д}$ – частоту коливань решітного стану, ω (с⁻¹); $x_{3,д}$ – кут поздовжнього нахилу решета, $\alpha_{позд}$ (град.) та відповідні кодовані значення – $x_{1,к}$, $x_{2,к}$, $x_{3,к}$.

Обробку даних виконували на ЕОМ з використанням математичних пакетів “Statistica-6.0” та “MathCAD-2001” за умов апроксимації відповідних критеріїв ефективності поліномом другого порядку в залежності від трьох зазначених факторів процесу сепарації.

Результати розрахунків дозволили отримати рівняння регресії, що характеризують процес розділення насінневої суміші ріпаку на решетах з прямокутними отворами шириною 1,5 мм.

Рівняння регресії для визначення параметрів роботи насіннеочисної машини з мінімальною засміченістю очищеної фракції отримано у такому вигляді:

$$\eta = 7,379 + 0,665 \cdot x_{1,к} + 0,049 \cdot x_{2,к} + 0,125 \cdot x_{3,к} + 0,188 \cdot x_{1,к}^2 - 0,388 \cdot x_{1,к} \cdot x_{2,к} - 0,187 \cdot x_{1,к} \cdot x_{3,к} + 0,345 \cdot x_{2,к}^2 - 0,010 \cdot x_{2,к} \cdot x_{3,к} + 0,379 \cdot x_{3,к}^2 \quad (1)$$

Рівняння регресії виходу очищеного матеріалу має вигляд:

$$W = 92,763 - 0,190 \cdot x_{1,к} - 0,232 \cdot x_{2,к} + 0,710 \cdot x_{3,к} - 0,192 \cdot x_{1,к}^2 - 1,120 \cdot x_{1,к} \cdot x_{2,к} - 0,275 \cdot x_{1,к} \cdot x_{3,к} + 0,428 \cdot x_{2,к}^2 + 0,275 \cdot x_{2,к} \cdot x_{3,к} + 0,246 \cdot x_{3,к}^2 \quad (2)$$

Таблиця 1

Реалізація плану-експерименту для визначення оптимальних значень параметрів роботи насіннеочисної машини СМ-0,15 з мінімальною засміченістю насіння ріпаку в очищеній (сходовій) фракції

№ п/п	Питома подача вихідного матеріалу q_B		Частота коливачь решітного стану ω		Кут поздовжнього нахилу $\alpha_{\text{позд}}$		Засміченість очищеної фракції η , %				
	$X_{1,д}$, кг/(год·дм)	$X_{1,к}$	$X_{2,д}$, с ⁻¹	$X_{2,к}$	$X_{3,д}$, град.	$X_{3,к}$	Експериментальні значення				Теоретичні значення
							1	2	3	Середнє	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	16,000	1,000	39,250	1,000	6,000	1,000	8,23	7,27	8,92	8,14	8,55
2	8,000	-1,000	39,250	1,000	6,000	1,000	9,23	7,52	8,03	8,26	8,37
3	16,000	1,000	28,783	-1,000	6,000	1,000	10,12	8,86	8,35	9,11	9,24
4	8,000	-1,000	28,783	-1,000	6,000	1,000	7,02	8,99	7,24	7,75	7,51
5	16,000	1,000	39,250	1,000	2,000	-1,000	9,22	8,17	7,27	8,22	8,69
6	8,000	-1,000	39,250	1,000	2,000	-1,000	8,37	6,79	7,82	7,66	7,76
7	16,000	1,000	28,783	-1,000	2,000	-1,000	10,44	8,26	8,96	9,22	9,35
8	8,000	-1,000	28,783	-1,000	2,000	-1,000	8,09	6,47	6,56	7,04	6,87
9	18,728	1,682	34,017	0,000	4,000	0,000	10,55	9,46	8,76	9,59	9,03
10	5,272	-1,682	34,017	0,000	4,000	0,000	7,36	6,71	5,61	6,56	6,79
11	12,000	0,000	42,819	1,682	4,000	0,000	9,95	8,92	8,04	8,97	8,44
12	12,000	0,000	25,214	-1,682	4,000	0,000	8,86	8,17	7,18	8,07	8,27
13	12,000	0,000	34,017	0,000	7,364	1,682	10,11	8,06	8,20	8,79	8,66
14	12,000	0,000	34,017	0,000	0,636	-1,682	9,43	7,54	8,35	8,44	8,24
15	12,000	0,000	34,017	0,000	4,000	0,000	8,68	6,93	6,83	7,48	7,38
16	12,000	0,000	34,017	0,000	4,000	0,000	8,11	6,81	7,37	7,43	7,38
17	12,000	0,000	34,017	0,000	4,000	0,000	8,21	6,79	6,84	7,28	7,38
18	12,000	0,000	34,017	0,000	4,000	0,000	7,98	6,62	7,45	7,35	7,38
19	12,000	0,000	34,017	0,000	4,000	0,000	8,26	7,02	6,53	7,27	7,38
20	12,000	0,000	34,017	0,000	4,000	0,000	8,51	7,16	6,56	7,41	7,38

Коефіцієнт множинної кореляції для першого рівняння регресії дорівнює $R_k = 0,94713$, а для другого – $R_k = 0,97256$. При цьому коефіцієнт детермінації для першого рівняння – $R_k^2 = 89,705\%$, а для другого – $R_k^2 = 94,587\%$.

В таблицях 1 та 2 додатково наведені результати визначення середніх експериментальних значень критеріїв ефективності та відповідних теоретичних значень, обчислених за отриманими рівняннями регресії.

Необхідною передумовою статистичного аналізу рівнянь регресії є приналежність відповідної вихідної величини нормальному закону розподілу та однорідність дисперсій дослідів для них.

Таблиця 2

Реалізація плану-експерименту для визначення оптимальних значень параметрів роботи насіннеочисної машини СМ-0,15 з максимальним виходом очищеного матеріалу ріпаку (в очищену сходову фракцію)

№ п/п	Питома подача вихідного матеріалу q_B		Частота коливань решітного стану ω		Кут поздовжнього нахилу $\alpha_{\text{позд}}$		Вихід очищеного матеріалу у сходову фракцію W , %					Теоретичні значення
							Експериментальні значення					
	$X_{1,д}$, кг/(год·дм)	$X_{1,к}$	$X_{2,д}$, с ⁻¹	$X_{2,к}$	$X_{3,д}$, град.	$X_{3,к}$	1	2	3	Середнє		
І	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	16,000	1,000	39,250	1,000	6,000	1,000	91,53	92,17	93,41	92,37	92,41	
2	8,000	-1,000	39,250	1,000	6,000	1,000	94,59	94,71	95,94	95,08	95,58	
3	16,000	1,000	28,783	-1,000	6,000	1,000	93,56	94,98	95,59	94,71	94,57	
4	8,000	-1,000	28,783	-1,000	6,000	1,000	92,08	93,25	93,97	93,10	93,26	
5	16,000	1,000	39,250	1,000	2,000	-1,000	89,72	90,80	91,97	90,83	90,99	
6	8,000	-1,000	39,250	1,000	2,000	-1,000	92,09	93,82	94,29	93,40	93,06	
7	16,000	1,000	28,783	-1,000	2,000	-1,000	93,14	94,40	94,55	94,03	94,25	
8	8,000	-1,000	28,783	-1,000	2,000	-1,000	91,06	92,04	92,78	91,96	91,84	
9	18,728	1,682	34,017	0,000	4,000	0,000	92,03	92,92	93,57	92,84	91,90	
10	5,272	-1,682	34,017	0,000	4,000	0,000	91,43	92,69	93,74	92,62	92,54	
11	12,000	0,000	42,819	1,682	4,000	0,000	93,24	93,64	94,79	93,89	93,58	
12	12,000	0,000	25,214	-1,682	4,000	0,000	93,31	94,75	95,47	94,51	94,36	
13	12,000	0,000	34,017	0,000	7,364	1,682	94,26	95,33	95,62	95,07	94,65	
14	12,000	0,000	34,017	0,000	0,636	-1,682	91,38	92,67	92,85	92,30	92,27	
15	12,000	0,000	34,017	0,000	4,000	0,000	92,21	92,51	93,59	92,77	92,76	
16	12,000	0,000	34,017	0,000	4,000	0,000	91,90	93,04	93,25	92,73	92,76	
17	12,000	0,000	34,017	0,000	4,000	0,000	92,12	92,32	93,63	92,69	92,76	
18	12,000	0,000	34,017	0,000	4,000	0,000	91,59	93,18	93,45	92,74	92,76	
19	12,000	0,000	34,017	0,000	4,000	0,000	92,14	92,33	93,87	92,78	92,76	
20	12,000	0,000	34,017	0,000	4,000	0,000	92,02	92,33	94,02	92,79	92,76	

Відповідність гіпотези про нормальність закону розподілення критеріїв ефективності (вихідної величини) η та W , які є випадковими величинами, перевіряли методом порівняння критеріїв асиметрії та ексцесу (оскільки в даному випадку вибірка $N = 20 < 50$) за відповідними їх похибками [9].

За розрахунками, виконаними за допомогою математичного пакету “Statistica-6.0”, модуль асиметрії розподілу та ексцесу кожної випадкової величини менші за відповідні стандартні похибки (граничні значення середнього квадратичного відхилення S_{As} і S_{Ec}) асиметрії As та ексцесу Ec , тобто:

– для засміченості очищеної фракції η :

$$\begin{aligned} |As| = 0,336129 < 3 \cdot |S_{As}| = 0,512103 ; \\ |Ec| = 0,707926 < 5 \cdot |S_{Ec}| = 0,992384 , \end{aligned} \quad (3)$$

– для виходу очищеної фракції W :

$$\begin{aligned} |As| = 0,232361 < 3 \cdot |S_{As}| = 0,512103 ; \\ |Ec| = 0,029197 < 5 \cdot |S_{Ec}| = 0,992384 . \end{aligned} \quad (4)$$

Тому розподіл випадкових величин для обох критеріїв ефективності (засміченості η та виходу W), визначених для очищеної фракції, вважається таким, що відповідає нормальному закону розподілення.

Перевірка однорідності дисперсій експериментів, за умови, що кількість спостережень (повторень) у кожному досліді є сталою величиною, виконували з використанням G -критерію Кохрена [7].

Як показали результати цієї перевірки, розрахункове значення критерію Кохрена для виходу W очищеного матеріалу становить $G_{\text{розн}} = 0,068$, а для засміченості насіння ріпаку в сходовій фракції – $G_{\text{розн}} = 0,077$. Згідно довідникових даних [7], для достовірної імовірності $p = 0,95$ (рівень значущості $q = 0,05$), кількості незалежних значень дисперсій $N = 20$ шт. та степені вільності вибірки експериментальних даних $f_N = 2$, табличне (граничне) значення критерію Кохрена становить $G_{\text{табл}} = 0,270$. Оскільки, $G_{\text{розн}} = 0,068 < G_{\text{табл}} = 0,270$ та $G_{\text{розн}} = 0,077 < G_{\text{табл}} = 0,270$, то однорідність дисперсій для зазначених випадкових величин забезпечується, тобто різниця між значеннями спостережень перебуває в межах необхідної точності досліді і не перевищує 5%.

Отримані нерівності також засвідчують можливість повторного відтворення результатів дослідів і, як наслідок цього, отримання аналогічних рівнянь регресії, що обумовлюється другою перевіркою статистичного аналізу.

Перевірка значущості коефіцієнтів рівняння регресії виконувалась з використанням критерію Ст'юдента [8, 9]. Результати перевірки, наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Результати перевірки значущості коефіцієнтів рівнянь регресії з визначення засміченості та виходу очищеного матеріалу у сходову фракцію

Коефіцієнти рівняння регресії у колованому вигляді	Критерій ефективності									
	Засміченість очищеної фракції η у сході					Вихід очищеної фракції W у схід				
	Значення коеф.-тів рівняння регресії	Стандартна похибка SE	Рівень значущості $q = 0,05$	Результати перевірки		Значення коеф.-тів рівняння регресії	Стандартна похибка SE	Рівень значущості $q = 0,05$	Результати перевірки	
				$q = 0,05$	$q = 0,10$				$q = 0,05$	$q = 0,10$
$a_{0,k}$	7,379	0,133837	$9,348 \times 10^{-14}$	+	+	56,167	0,171559	0,000000	+	+
$a_{1,k}$	0,665	0,018793	0,000056	+	+	1,910	0,013819	0,018196	+	+
$a_{2,k}$	0,049	0,018793	0,043162	+	+	0,516	0,013819	0,023180	+	+
$a_{3,k}$	0,125	0,018793	0,039824	+	+	-0,126	0,013819	0,000043	+	+
$a_{11,k}$	0,188	0,026426	0,031317	+	+	-0,012	0,001078	0,041811	+	+
$a_{12,k}$	-0,388	0,016019	0,008987	+	+	-0,056	0,014871	0,000008	+	+
$a_{13,k}$	-0,187	0,016019	0,016238	+	+	-0,034	0,014871	0,037436	+	+
$a_{22,k}$	0,345	0,026426	0,001830	+	+	0,017	0,001078	0,004652	+	+
$a_{23,k}$	-0,010	0,016022	0,013226	-	-	0,028	0,014871	0,037131	+	+
$a_{33,k}$	0,379	0,026426	0,000710	+	+	0,062	0,0011078	0,045653	+	+

Зауваження: "+" – умова перевірки забезпечується;
 "-" – умова перевірки не забезпечується.

Як засвідчують результати (табл. 3), при довірчій імовірності $p = 0,95$, жодне зі значень коефіцієнтів рівняння регресії (2), яке визначає вихід очищеного матеріалу у сходову фракцію, не виходить за межі відповідних допустимих довірчих інтервалів та граничних значень рівнів значущості, а тому всі десять коефіцієнтів цього рівняння є значущими. В рівнянні регресії (1), яке характеризує засміченість очищеної фракції, абсолютне значення коефіцієнту, що визначає величину взаємодії

частоти коливань решітного стану та кута поздовжнього нахилу решета, наведеного у кодованому вигляді, становить $|a_{k,23}| = 0,010$. За умов, коли рівень значущості q змінюється в межах від 0,05 до 0,10, абсолютне значення довірчого інтервалу, який враховує похибку вимірів засміченості матеріалу у сходовій фракції, що дорівнює $SE = 0,128032$, для цього коефіцієнту, перевищує відповідне граничне значення. Тому даний коефіцієнт вважається незначущим, і його можна не враховувати під час обчислень зазначеного критерію ефективності. Решта коефіцієнтів рівняння регресії залежності засміченості η від трьох факторів – q_B , ω та $\alpha_{\text{позд}}$ (1) не перевищують граничних значень величини q , які встановлені на рівні 5%, тобто вони є значущими.

Враховуючи співвідношення між дійсними та кодованими значеннями факторів [10]:

$$x_{1,k} = \frac{Q - 12,0}{4,0}; \quad x_{2,k} = \frac{\omega - 34,017}{5,234}; \quad x_{3,k} = \frac{\alpha_{\text{позд}} - 4,0}{2,0}, \quad (5)$$

та результати попередньої перевірки на значущість коефіцієнтів, рівняння регресії (1) та (2) запишемо у декодованому вигляді:

$$\eta = -21,662 + 0,891 \cdot q_B + 0,243 \cdot \omega + 0,344 \cdot \alpha_{\text{позд}} + 0,012 \cdot q_B^2 - 0,019 \cdot q_B \cdot \omega - 0,023 \cdot q_B \cdot \alpha_{\text{позд}} + 0,014 \cdot \omega^2 + 0,095 \cdot \alpha_{\text{позд}}^2; \quad (6)$$

$$W = 56,167 + 1,910 \cdot q_B + 0,516 \cdot \omega - 0,126 \cdot \alpha_{\text{позд}} - 0,012 \cdot q_B^2 - 0,056 \cdot q_B \cdot \omega - 0,034 \cdot q_B \cdot \alpha_{\text{позд}} + 0,017 \cdot \omega^2 + 0,028 \cdot \omega \cdot \alpha_{\text{позд}} + 0,062 \cdot \alpha_{\text{позд}}^2. \quad (7)$$

Адекватність одержаних рівнянь регресії перевіряли за допомогою F -критерію Фішера [8 – 10]. Результати перевірки зведені у таблицю 4.

На підставі обробки результатів вимірів та обчислень, встановлено, що з 95%-ною імовірністю нульова гіпотеза про невідповідність теоретичних залежностей результатам експериментальних досліджень відхиляється, тобто адекватність опису рівняннями (5, 6) результатів вимірів забезпечується, оскільки: для засміченості очищеної фракції: $F_{\text{розр}} = 2,371 < F_{\text{табл}} = 2,531$, а для виходу очищеної фракції W – $F_{\text{розр}} = 2,135 < F_{\text{табл}} = 2,661$.

За допомогою градієнтного методу [9] визначені оптимальні параметри режиму роботи решітної насіннеочисної машини при очищенні насіння ріпаку з

найменшою засміченістю η_{\min} та найбільшим виходом очищеного матеріалу W_{\max} в сходову фракцію.

Таблиця 4

Результати перевірки адекватності рівнянь регресії з визначення засміченості та виходу очищеного матеріалу у сходову фракцію

№ п/п	Критерій ефективності	Дисперсія		Достовірна імовірність p	Кіл-ть дослідів N	Кіл-ть повторів для кожного досліді m_s	Кіл-ть значущих коефіцієнтів рівняння регресії b_k	Число степенів вільності		F -критерій Фішера	
		відновлення досліді D_y	адекватності рівняння					дисперсії відновлення	дисперсії адекватності	Табличне (граничне)	Розрахункове значення $F_{\text{розр}}$
1	Засміченість очищеної фракції η	0,691	0,292	0,95	20	3	9	40	11	2,531	2,371
2	Вихід очищеної фракції W (схід решета)	0,987	0,462	0,95	20	3	10	40	10	2,661	2,135

Для досягнення найбільшого виходу очищеної фракції з насінневої суміші ріпаку на решетах з прямокутними отворами шириною 1,5 мм, необхідно встановити: питому подачу вихідного матеріалу – $q_B = 19,62$ кг/(год·дм); частоту коливань решітного стану $\omega = 23,550$ с⁻¹; кут поздовжнього нахилу решіт $\alpha_{\text{позд}} = 2,07^0$. За таких значень параметрів, критерії ефективності становлять: вихід очищеної фракції $W = 98,73\%$, а засміченість – $\eta = 12,65\%$.

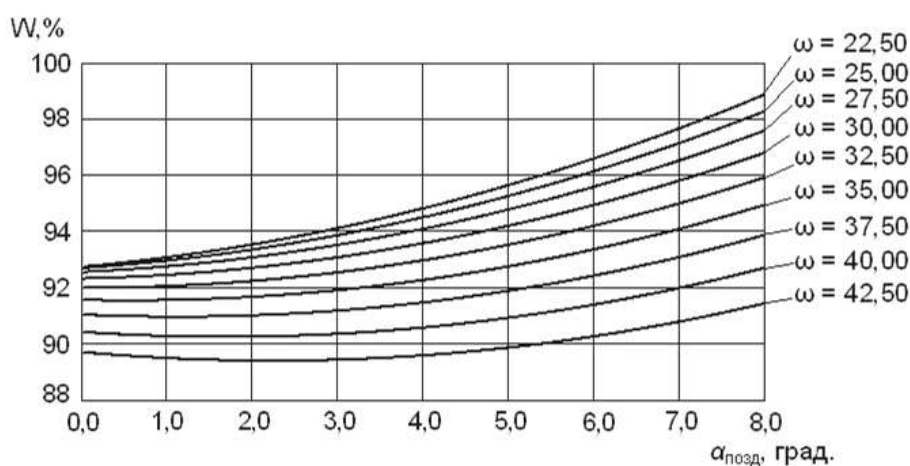
Оптимальними параметрами для досягнення мінімальної засміченості очищеного матеріалу з насінневої суміші ріпаку на решетах з прямокутними отворами шириною 1,5 мм є: $q_B = 4,0$ кг/(год·дм); $\omega = 27,716$ с⁻¹; $\alpha_{\text{позд}} = 2,65^0$. При цьому, вихід $W = 90,06\%$, а засміченість – $\eta = 6,14\%$ (при вихідній засміченості $\eta_{\text{вм}} = 12,97\%$).

При визначенні найбільшого виходу очищеної фракції, за умов мінімальної її засміченості, оптимальними параметрами є: $q_B = 4,0$ кг/(год·дм); $\omega = 39,250$ с⁻¹;

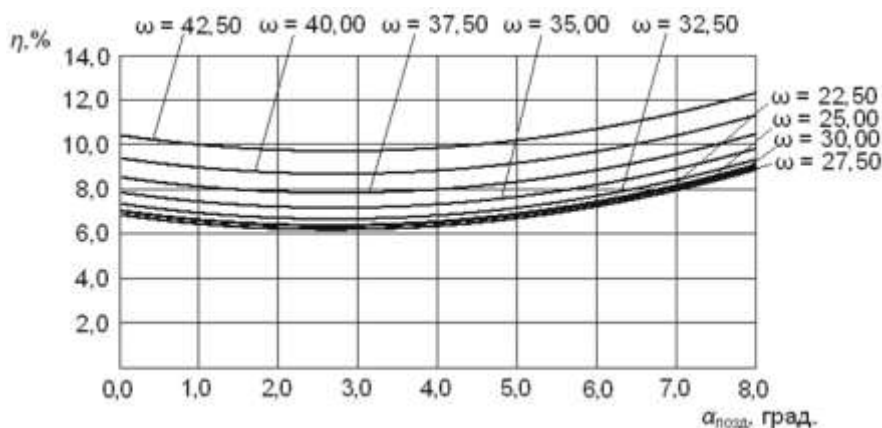
$\alpha_{\text{позд}} = 4,0^\circ$, які забезпечують вихід очищеного матеріалу $W = 94,81\%$, а засміченість $-\eta = 7,97\%$.

Отримані результати підтверджуються двомірними графіками перерізів критеріїв ефективності при фіксованих значеннях окремих параметрів, наведеними на рисунках 9 і 10.

Рівняння регресії (5 та 6) можна використовувати для прогнозування виходу очищеної фракції W та її засміченості η в залежності від питомої подачі вихідного матеріалу q_B , частоти коливань решітного стану ω та кута позовжнього нахилу $\alpha_{\text{позд}}$ решета з прямокутними отворами шириною 1,5 мм у наступному діапазоні зміни регульованих параметрів: $4,0 \leq q_B \leq 20,0$ (кг/(год·дм)); $23,550 \leq \omega \leq 44,483$ (с⁻¹) та $0,0 \leq \alpha_{\text{позд}} \leq 8,0^\circ$.



а



б

Рис. 9 – Вплив кута позовжнього нахилу решета $\alpha_{\text{позд}}$ та частоти коливань решітного стану ω , за умов фіксованого значення питомої подачі вихідної суміші $q_B = 4,0$ кг/(год·дм), на: а – вихід очищеного матеріалу W ; б – засміченість η очищеної фракції

За рівняннями (5 та 6) побудовані графіки залежностей критеріїв ефективності від зміни параметрів процесу сепарації (рисунки 9 та 10), поверхні відгуків та їх двомірні перерізи зміни виходу W очищеного матеріалу (рисунки 11 –13) та засміченості η сходової фракції (рисунки 14 –16).

Аналіз графічних залежностей показує, що існує тісний функціональний зв'язок зміни W та η від зміни q_B , ω і $\alpha_{\text{позд}}$. Збільшення частоти коливань решітного стану і питомої подачі вихідного матеріалу при збільшенні кута позовжнього нахилу решета в діапазоні від $3,0$ до $8,0^\circ$ забезпечує збільшення виходу очищеної фракції, але і зростання її засміченості (рисунки 4.9 і 4.10). При менших кутах нахилу решета інтенсивність зміни виходу очищеної фракції менша, причому, якщо $36,63 \text{ с}^{-1} < \omega$ і $15,0 \text{ кг}/(\text{год} \cdot \text{дм}) < q_B$ вихід W дещо зменшується за рахунок погіршення умов просівання часток проходової фракції.

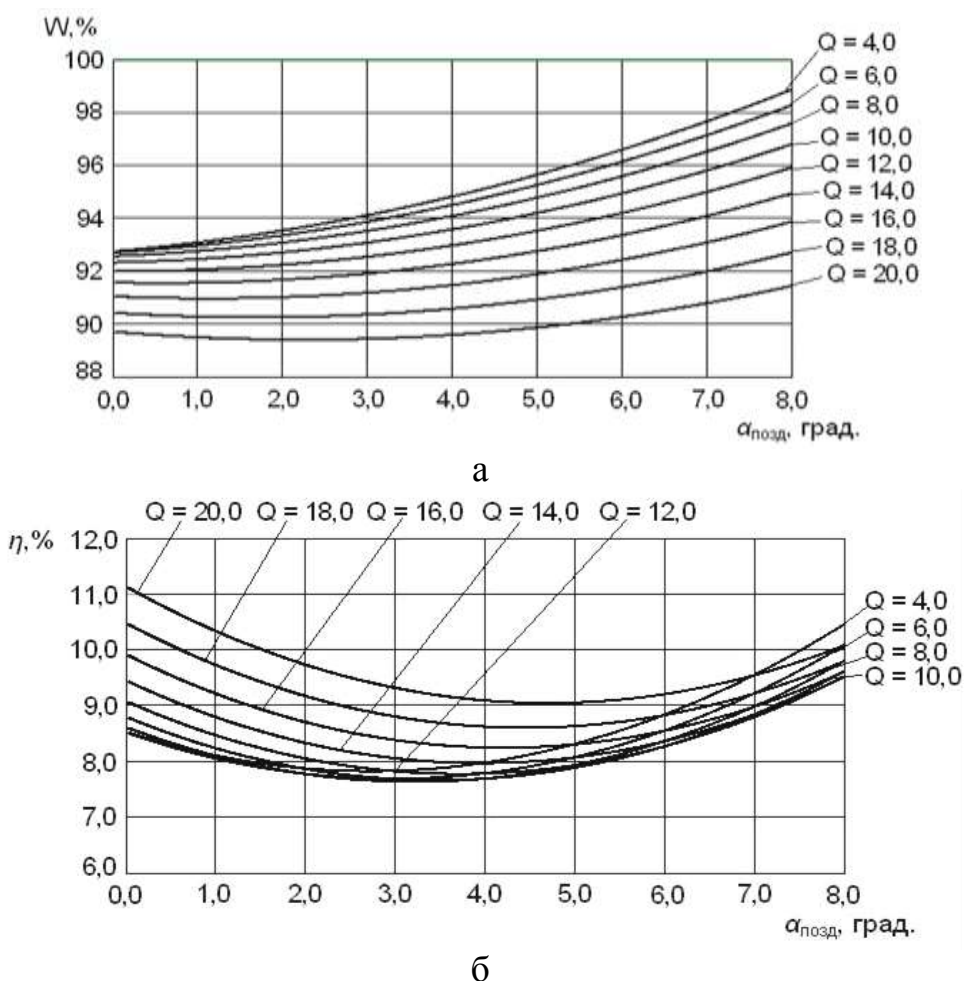


Рис. 10 – Вплив кута позовжнього нахилу решета $\alpha_{\text{позд}}$ та питомої подачі вихідної суміші q_B , за умов фіксованого значення частоти коливань решітного стану $\omega = 39,250 \text{ с}^{-1}$, на: а – вихід очищеного матеріалу W ; б – засміченість η очищеної фракції

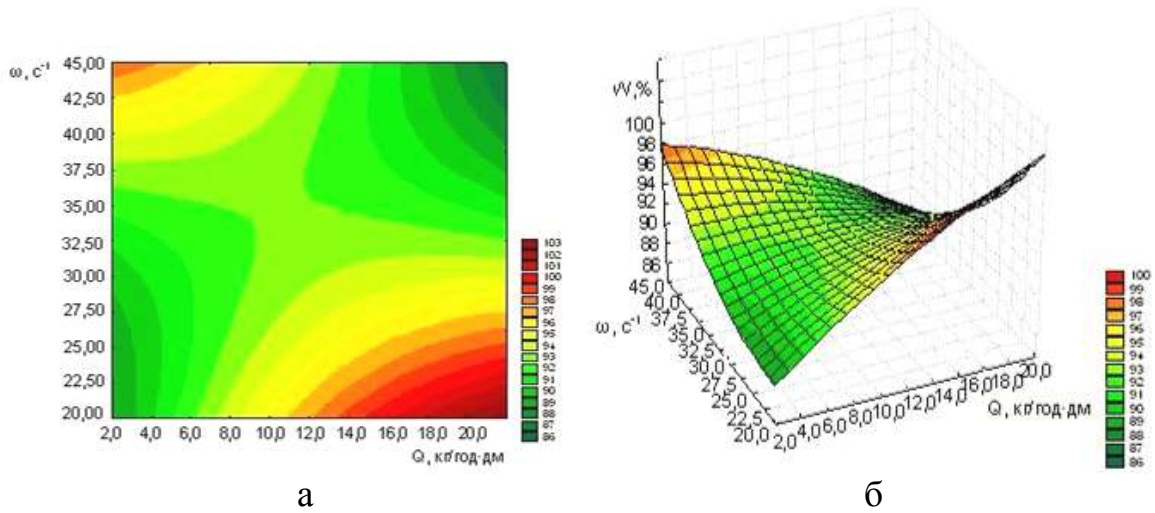


Рис. 11 – Графіки залежності виходу очищеного матеріалу W від питомої подачі вихідної суміші q_B та частоти коливань решітного стану ω , за умов фіксованого значення кута поздовжнього нахилу решета $\alpha_{\text{позд}}$ на рівні $0,0^0$: а – лінії рівнів критерію ефективності W ; б – поверхня відгуку критерію ефективності W

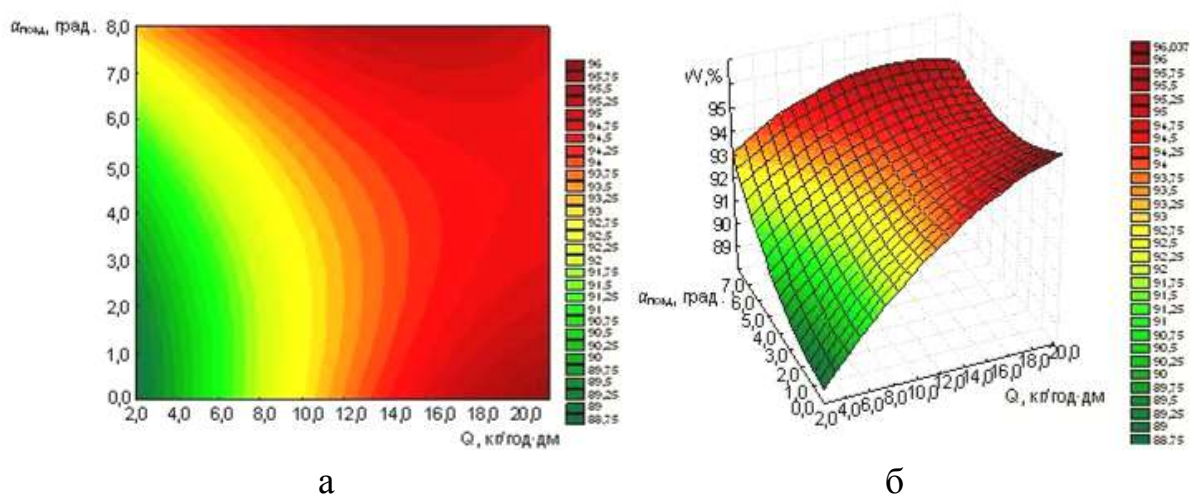


Рис. 12 – Графіки залежності виходу очищеного матеріалу W від питомої подачі вихідної суміші q_B та кута поздовжнього нахилу решета $\alpha_{\text{позд}}$, за умов фіксованого значення частоти коливань решітного стану ω на рівні $28,783 s^{-1}$: а – лінії рівнів критерію ефективності W ; б – поверхня відгуку критерію ефективності W

Засміченість очищеної фракції при збільшенні кута нахилу решета від 0 до $3,0^0$ в усіх діапазонах зміни частоти коливань і питомої подачі зменшується, причому варіювання величини подачі на малих кутах більш суттєво впливає на зміну засміченості очищеного матеріалу.

На рисунках 11 – 13 наведені графіки поверхні відгуку та ліній рівнів для виходу очищеної фракції W від зміни факторів – q_B , ω та $\alpha_{\text{позд}}$. Аналіз наведених графічних залежностей вказує на тісний функціональний зв'язок, що існує між факторами та критерієм W .

Одночасне збільшення питомої подачі q_B та частоти коливань ω , за умов фіксованого значення кута нахилу решета $\alpha_{\text{позд}}$ на мінімальному рівні ($\alpha_{\text{позд}} = 0,0^\circ$), підвищує вихід очищеної фракції на початковому етапі до середніх значень їх діапазонів, в яких знаходяться їх оптимальні співвідношення. Це пояснюється тим, що при цих параметрах погіршуються умови для просівання часток матеріалу крізь решето, внаслідок чого вміст сходової фракції зростає. Подальше одночасне збільшення цих факторів сприяє зниженню виходу очищеного матеріалу у сходову фракцію, причому це зменшення відбувається більш інтенсивно, ніж зростання на початковому етапі (рис. 11).

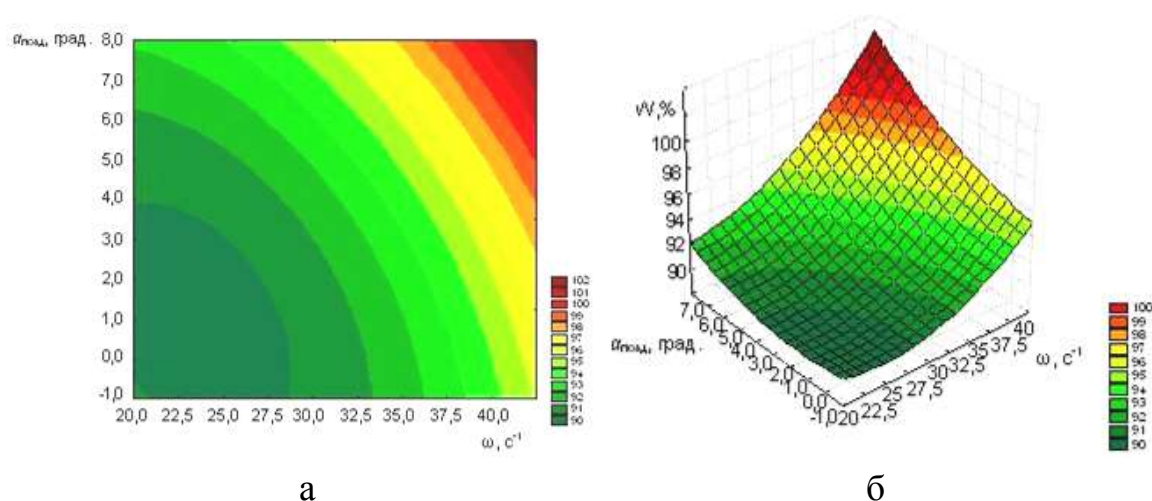


Рис. 13 – Графіки залежності виходу очищеного матеріалу W від частоти коливань решітного стану ω та кута поздовжнього нахилу решета $\alpha_{\text{позд}}$, за умов фіксованого значення питомої подачі вихідної суміші q_B на рівні 4,0 кг/(год·дм): а – двомірні перерізи критерію ефективності W ; б – поверхня відгуку критерію ефективності W

Отже, підвищення виходу очищеної фракції можна досягти збільшенням питомої подачі q_B та зменшенням частоти коливань решітного стану ω або навпаки, але при цьому суттєво зростає засміченість η очищеного матеріалу в сходовій фракції, що обмежує можливість якісного очищення матеріалу при найбільшому виході W (рис. 11).

В області мінімальних значень q_B із збільшенням нахилу решіт до $\alpha_{\text{позд}} = 2,5^\circ$ покращуються умови просівання прохідової фракції через решето з прямокутними отворами шириною 1,5 мм. Подальше збільшення кута забезпечує підвищення виходу очищеної фракції за рахунок зростання швидкості переміщення насінневої суміші по решету, але засміченість матеріалу в сході також збільшується (рис. 12).

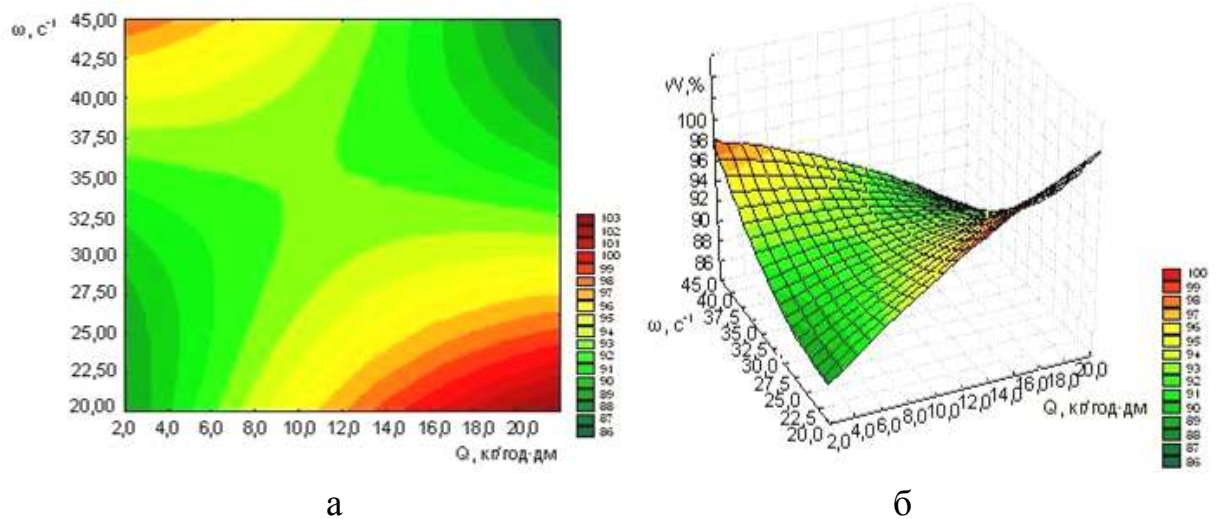


Рис. 14 – Графіки залежності засміченості сходової фракції η від питомої подачі вихідної суміші q_B та частоти коливань решітного стану ω , за умов фіксованого значення кута поздовжнього нахилу решета $\alpha_{\text{позд}}$ на рівні $0,0^0$: а – лінії рівнів критерію ефективності η ; б – поверхня відгуку критерію ефективності η

Підвищення питомої подачі вихідного матеріалу, при фіксованому значенні кута нахилу, забезпечує більш інтенсивне зростання виходу очищеної фракції. За умов одночасного збільшення q_B та $\alpha_{\text{позд}}$, величина W зростає не пропорційно для обох факторів, і досягає максимальних значень на верхньому рівні питомої подачі $q_B = 40,0$ кг/(год·дм) та практично середньому рівні кута нахилу $\alpha_{\text{позд}} = 5,0^0$.

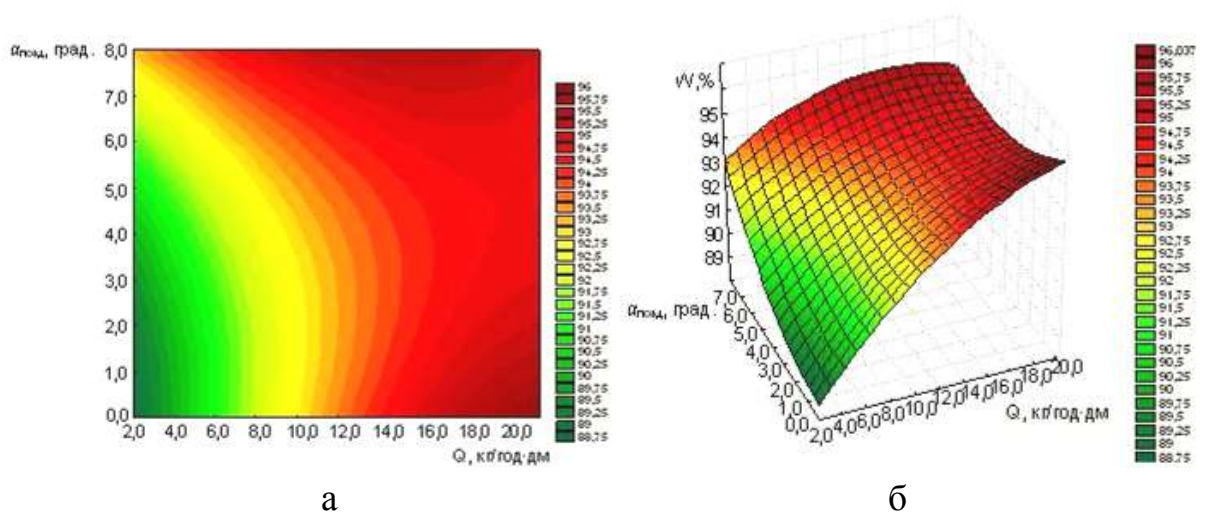


Рис. 15 – Графіки залежності засміченості сходової фракції η від питомої подачі вихідної суміші q_B та кута поздовжнього нахилу решета $\alpha_{\text{позд}}$, за умов фіксованого значення частоти коливань решітного стану ω на рівні $28,783$ c^{-1} : а – лінії рівнів критерію ефективності η ; б – поверхня відгуку критерію ефективності η

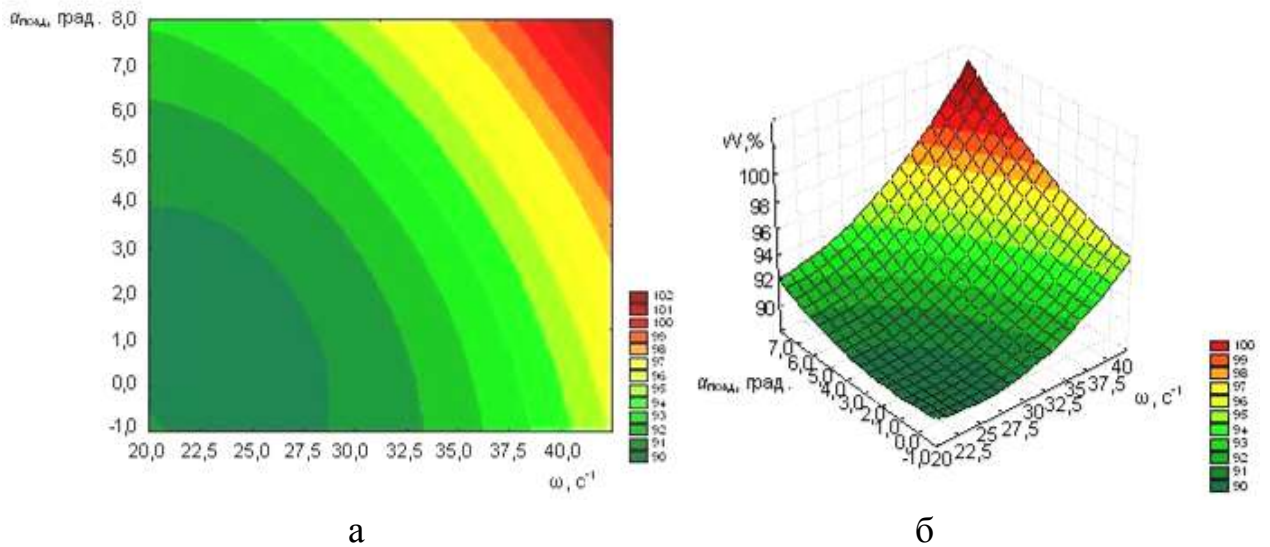


Рис. 16 – Графіки залежності засміченості сходової фракції η від частоти коливань решітного стану ω та кута поздовжнього нахилу решета $\alpha_{\text{позд}}$, за умов фіксованого значення питомої подачі вихідної суміші $q_{\text{в}}$ на рівні 4,0 кг/(год·дм): а – двомірні перерізи критерію ефективності η ; б – поверхня відгуку критерію ефективності η

Область мінімальних значень ω та $\alpha_{\text{позд}}$ забезпечує найменший вихід очищеного матеріалу у сходову фракцію з мінімальною засміченістю, за рахунок створення на цьому режимі найбільш сприятливих умов для просівання матеріалу крізь отвори решета. Подальше одночасне збільшення цих факторів до максимальних значень, або кожного окремо, призводить до збільшення виходу W . Причому, слід відмітити, що у випадку одночасного зростання ω та $\alpha_{\text{позд}}$ вихід і засміченість збільшуються практично пропорційно кожному з зазначених факторів (рис. 13).

ВИСНОВКИ

1. Експериментально підтверджено суттєвий вплив зміни кута поздовжнього нахилу решіт з прямолінійними коливаннями у напрямку найбільшого схилу на ефективність сепарації насінневих сумішей ріпаку. Дрібнонасінневі суміші сільськогосподарських культур, до яких відносяться насіння ріпаку можливо ефективно сепарувати при менших кутах нахилу решіт, для яких оптимальний діапазон змінюється від $1,5$ до $4,0^{\circ}$, що нижче за значення паспортних даних таких машин.

2. Виявлено тісний функціональний зв'язок зміни виходу очищеного дрібнонасінневого матеріалу ріпаку і його засміченості від зміни кута поздовжнього нахилу решіт з прямолінійними коливаннями у напрямку найбільшого схилу і дії збуджувальної сили. Збільшення кута поздовжнього нахилу решета в діапазоні від $3,0$ до $8,0^{\circ}$ при підвищенні частоти коливань решітного стану і питомої подачі вихідного матеріалу сприяє зростанню виходу очищеної (сходової) фракції, але й збільшує її засміченість. Засміченість сходової фракції при збільшенні кута нахилу решета від 0 до $1,5 - 3,0^{\circ}$ у всіх діапазонах зміни частот коливань і питомої подачі вихідного матеріалу зменшується, причому зміна величини подачі на малих кутах нахилу решета більш суттєво впливає на величину засміченості очищеного матеріалу, ніж зміна частоти коливань.

3. Одержані рівняння регресії можна використовувати для прогнозування виходу очищеної фракції насінневої суміші ріпаку та її засміченості основними важковідокремлюваними бур'янами – просом курячим та мишієм сизим, в залежності від зміни питомої подачі вихідного матеріалу, частоти коливань решітного стану та кута поздовжнього нахилу решета з прямокутними отворами шириною $1,5$ мм, які є найбільш доцільними для сепарації зазначених насінневих сумішей.

4. Оптимальними параметрами для отримання мінімальної засміченості очищеного матеріалу з насінневої суміші ріпаку на решетах з прямокутними отворами шириною $1,5$ мм є: питома подача вихідного матеріалу – $q_B = 4,0$ кг/(год·дм); частота коливань решітного стану – $\omega = 26,48$ с⁻¹; кут

поздовжнього нахилу решета – $\alpha_{\text{позд}} = 2,65^{\circ}$, які забезпечують: вихід очищеної фракції $W = 90,06\%$, а засміченість – $\eta = 6,14\%$, при засміченості вихідного матеріалу $12,97\%$.

5. Для досягнення найбільшого виходу очищеної фракції з насінневої суміші ріпаку, за умов мінімальної його засміченості, на решетах з прямокутними отворами шириною $1,5$ мм оптимальними параметрами є: $q_{\text{в}} = 4,0$ кг/(год·дм); $\omega = 37,50$ с⁻¹; $\alpha_{\text{позд}} = 4,0^{\circ}$, які забезпечують вихід $W = 94,81\%$, а засміченість – $\eta = 7,97\%$.

6. На плоских решетах з прямолінійними коливаннями у напрямку найбільшого схилу, підвищення ефективності сепарації дрібнонасіневих сумішей з виділенням у відходи важковідокремлюваного насіння бур'янів та інших домішок, які відрізняються за розмірами від насіння основної культури, досягається завдяки зменшенню кута їх поздовжнього нахилу $\alpha_{\text{позд}}$: з $6,0^{\circ}$ до $2,65^{\circ}$, при очищенні насіння ріпаку від насіння проса курячого та мишію сизого, знижує засміченість очищеного матеріалу з $8,79\%$ до $6,14\%$; з $6,0^{\circ}$ до $4,5^{\circ}$.

Список використаної літератури

1. Левитский Н. И. Колебания в механизмах: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 336 с.
2. Національний стандарт України. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. ДСТУ 4138-2002. – Вид-ня офіційне. – К.: Держстандарт України, 2003. – 173 с.
3. Державний стандарт України. Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості. ДСТУ 2240-93. – Вид-ня офіційне. – К.: Держстандарт України, 1993. – 74 с.
4. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 3, розділ 7. Очистка і сортування насіння. – Харків: Око, 2006. – 408 с.
5. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 3, розділ 7. Очистка і сортування насіння. – Харків: Око, 2006. – 408 с.
6. Кожуховский И.Е. Зерноочистительные машины. Конструкции, расчет и проектирование. Изд. второе, перераб. – М.: Машиностроение, 1974. – 200 с.
7. Пилипчик М.І., Кірик М.Д., Григор'єв А.С. та ін. Математичне планування багатофакторного експерименту: Навч. посібник. – Л.: УкрДЛТУ, 2004. – 54 с.
8. Налимов В.В. Теория эксперимента. – М.: Наука, 1976. – 208 с.
9. Пилипчик М.І., Григор'єв А.С., Шостак В.В. Основи наукових досліджень: Підручник. – К.: Знання, 2007. – 270 с.
10. Нечаєв В.П., Берідзе Т.М., Кононенко В.В. та ін. Теорія планування експерименту: Навч. посібник. – К.: Кондор, 2005. – 232 с.
11. Кожуховский И. Е. Зерноочистительные машины. Конструкции, расчет и проектирование. Изд. второе, перераб. – М.: Машиностроение, 1974. – 200 с.
12. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт по дисципліні “Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів” / Ю. О. Манчинський, А. В. Сергеева. – Харків: ХДТУСГ, 2000. – 124 с.
13. Манчинський Ю.О. Обґрунтування параметрів робочого органу машини для розділення насінневих сумішей. – Харків: Око, 1997. – 124 с.
14. Дьяконов В. П. MATHCAD 8 / 2000: Специальный справочник. – СПб: Питер, 2000. – 592 с.
15. Боровиков В. П. Программа STATISTICA для студентов и инженеров. – М.: “Компьютер Пресс”, 2001. – 301 с.
16. Armstrong-Hélouvry B., Dupont P., Canudas De Wit C. A survey of models, analysis tools and compensation methods for the control of machines with friction // Automatica, 1994. - V.30. - N.7. - P. 1083 - 1138.
17. Hess D. P., Soom A. Friction at a lubricated line contact operating at oscillating sliding velocities // J. Tribology, 1990. - V.112. - P. 147 - 152.

18. Canudas De Wit C., Olsson H., Åström K. J., Lischinsky P. A new model for control of systems with friction // IEEE Transactions on Automatic Control, 1995. - V.40. - N.3. - P. 419 - 424.

19. Kern R. H., Gao C.-T., Nitsche R. Reibkraftkompensation mittels Fuzzy- Logik // Automatisierungstechnischepraxis, 1995. - V.37. - P. 50 - 60.

20. Пат. 28310 України. А01В 15/00. Спосіб інтенсифікації процесу сепарації сипких матеріалів на решетах / Бакум М.В., Манчинський Ю.О., Горбатовський О.М. – №u2007 05573; заявл. 21.05.2007 р.; опубл. 10.12.2007 р., Бюл. № 20.

21. Пат. 35884 України. В07В 1/00. Ярусний багаторешітний стан / Горбатовський О.М., Манчинський Ю.О., Бакум М.В., Нор О.В. – №u2008 05245; заявл. 22.04.2008 р.; опубл. 10.10.2008 р., Бюл. № 19.

22. Завод “Воронежсельмаш”. Машина семяочистительная СМ-4. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Воронеж: Изд-во “Коммуна”, 1977. – 69 с.

Шифр «Сепарація ріпаку»

Студентська робота

на тему

**ОБҐРУНТУВАННЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ
СЕПАРАЦІЇ НАСІННЯ РІПАКУ
НА РЕШІТНИХ СЕПАРАТОРАХ**

Харків 2020