

Ватухин А.П., Саяпин И.В., Саяпин В.В. – № 2002101004/13; заявл. 08.01.2002; опубл. 10.10.2003, Бюл. 28.

13. Старовойтов В.И. Биогумус как средство повышения урожайности и улучшения качества картофеля при механизированной посадке в условиях мелкотоварного производства: рекомендации / В.И. Старовойтов, А.Х. Абазов, Л.С. Федотова, В.И. Черников. – М.: ВНИИ картофельного хозяйства, 2000. – 30 с.

14. Пат. 2110169 Российская Федерация, МКП А01С 9/00, 9/02. Сажалка картофеля / Старовойтов В.И., Прокопович М.П., Ковалев М.П., Майстренко Н.З., Черников В.И. – № 96121320/13; заявл. 30.10.96; опубл. 10.05.98, Бюл. №15.

15. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: учеб. пособие для студентов вузов / А.И. Половинкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.

Рецензент д.т.н., проф. Налобіна О.О.

УДК 631.362.36

© С.М. Мороз, к.т.н.; М.І. Васильковський, к.т.н.; О.М. Васильковський, к.т.н.; О.В. Анісімов
Кіровоградський національний технічний університет

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТРАНСПОРТЕРА–СЕПАРАТОРА ЗЕРНООЧИСНОЇ МАШИНИ

Розроблено програму та методику експериментальних досліджень транспортера-сепаратора зерноочисної машини.

МЕТОДИКА, ДОСЛІДЖЕННЯ, ЕКСПЕРИМЕНТ, ЗЕРНО.

Постановка проблеми. Глобалізація інформаційних процесів дозволяє запозичувати та використовувати технологічні процеси одних галузей машинобудування в інші. Швидкий розвиток ІТ-галузі дозволив пришвидшити та поглибити таку глобалізацію в машинобудуванні.

Все більшого застосування набуває використання комп'ютерної техніки та ІТ-технологій в сільськогосподарській техніці. Це дозволяє її провідним виробникам швидко розробляти, впроваджувати у виробництво та постачати на ринок нові сучасні моделі. В основному це стосується ґрунтообробної, посівної та

збиральної техніки. В зерноочисній техніці найбільш швидко розвивається сортувальна техніка, яка дозволяє проводити очищення основного матеріалу за великою кількістю ознак в тому числі з використанням лазерних променів під керуванням комп'ютера. Однак в високопродуктивних сепараторах використовується розділ оброблюваного матеріалу за однією чи кількома ознаками, наприклад, за товщиною та швидкістю витання зерна основної культури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На кафедрі сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету було розроблено ряд конструкцій зерноочисних машин загального призначення продуктивністю від 1 до 10 т/год. Зміна послідовності виконання технологічних операцій дозволила спростити конструкцію сепараторів, використовувати багатофункціональні основні робочі органи та зменшити витрати енергії на процес сепарації [1]. Одним з багатофункціональних органів є завантажувач-сепаратор, який дозволяє під час завантаження оброблюваного матеріалу до машини виділяти з його складу крупні домішки [2–3].

Мета досліджень. Для дослідження впливу параметрів та режимів роботи транспортера-сепаратора на його технологічну ефективність було складено програму та методику експериментальних досліджень, якими передбачалось:

- визначити основні фізико-механічні властивості зернового матеріалу;
- перевірка адекватності теоретичних моделей;
- дослідити вплив параметрів та режимів роботи сепаруючої частини робочого органу на його технологічну ефективність;
- вивчити закономірності просівання зерна крізь канали решета по його довжині залежно від величини питомого завантаження решета, вологості та засміченості оброблюваного матеріалу;
- визначити енергоємність процесу сепарації.

Результати дослідження. Дослідження проводились на зерновому воросі озимої пшениці (Одеська 267), отриманому після збирання зернозбиральними комбайнами СК–5 "Нива", "Дон–1500" та "Лан".

Для визначення фракційного складу зернового вороху, вибірку масою 0,2 кг оброблювали на плоскому ручному класифікаторі з продовгуватими отворами за стандартною методикою [4]. Залишки зерна на решетах зважували. Результати заносили до таблиці. Фракційний склад зернового вороху визначали за методикою [4].

Засміченість зернового вороху крупними домішками регулювали шляхом штучного збільшення чи зменшення їх маси у вихідному матеріалі.

Об'ємну масу вибірки оброблюваного матеріалу визначали обчисленням відношення одержаної маси до об'єму ємності. Об'ємну масу оброблюваного матеріалу визначали обчисленням середнього арифметичного значення відношень одержаних об'ємних мас вибірок.

Вимірювання вологості зернового вороху здійснювалось методом прямого висушування згідно ГОСТ 12041–82.

Для отримання даних щодо кількісно-якісних показників роботи досліджуваного транспортера-сепаратора на матеріалі з різною вологістю, природний ворох штучно зволожували, і після витримки 48 годин, перевіряли вологість.

Для проведення дослідів було розроблено та виготовлено експериментальна установка, схема та загальний вигляд якої приведені на рис. 1 та 2.

Експериментальна установка (рис. 1) складається із рами 1, до якої на шарнірі 11 закріплено корпус транспортера-сепаратора 2 з механізмом приводу. До боковин корпусу з внутрішньої сторони під транспортером-сепаратором 2 закріплено решето з круглими поздовжніми перетинками 3 (рис. 5 або 8) та на підшипникових сферичних опорах верхній (привідний барабан) 4 та нижній барабан 5.

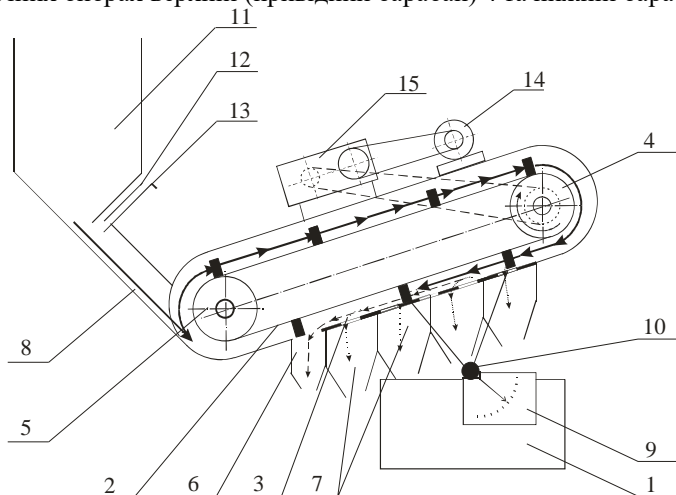


Рис. 1 – Схема експериментальної установки



Рис. 2 – Загальний вигляд експериментальної установки

За барабаном 5 встановлено бункер 11, в нижній частині якого знаходяться регулююча заслінка 12 та перекриваюча заслінка 13. Для визначення просівання прохідної фракції зернового матеріалу по довжині решета 3 під ним встановлено приймальник прохідової фракції 7. Ковшовий транспортер 2 приводиться в дію електричним двигуном 14, потужністю 1,5 кВт, за допомогою двох клинопасових передач та шестиступеневої зубчатої коробки зміни передач (КЗП) 15, яка забезпечує ступеневу зміну кількості обертів привідного барабану від 78 до 525 хв^{-1} , тобто швидкість руху ковшового транспортера 2 змінюється від $0,5$ до $2,83 \text{ м/с}$. Контроль та вимірювання швидкості руху ковшового транспортера 2 здійснювались механічним тахометром.

Зміна кута нахилу корпусу транспортера 2 відносно горизонту здійснювалась шляхом його повертання відносно шарніра 10 з фіксацією в необхідному положенні. Контроль та вимірювання кута нахилу транспортера відносно горизонту здійснювались кутоміром 9.

Надходження матеріалу із бункера 11 до ковшового транспортера 2 здійснюється самопливом по зернопроводу 8.

Подача оброблюваного матеріалу на решето регулюється зміною кількості ковшів транспортера.

При надходженні зернового матеріалу до нижньої частини корпусу транспортера 2 ковшовий транспортер захвачує його і транспортує до верхньої частини корпусу, де проходить розвантаження ковшів і оброблений матеріал надходить до верхньої частини решета 3, на поверхні якого частки оброблюваного матеріалу

змінюють свою орієнтацію відносно його каналів і ті, в яких товщина чи (та) ширина менші ніж робоча ширина каналу, проходять крізь поверхню сепарації та надходять до приймальників прохідової фракції 7. Решта частини зернового вороху, яка не пройшла крізь решето 3 йде сходом та надходить до приймальника сходової фракції 6.

В якості поверхні сепарації використовується решето з круглими поздовжніми перетинками круглого профілю діаметрами 1, 2, 3, 4, 5 та 6 мм, загальний вид яких приведено на рис. 3.

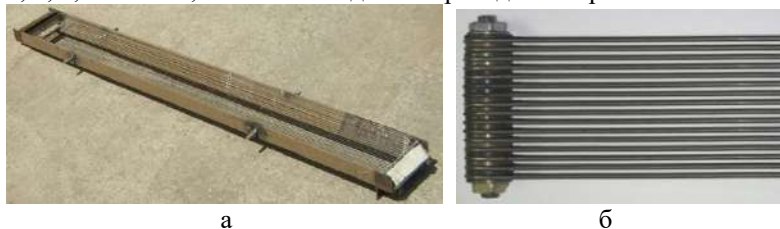


Рис. 3 – Решето: а – струнне решето; б – секція решета

Решето, діаметр перетинок якого становить 1 та 2 мм (рис. 3, а), складається з рамки, в середині якої з одного краю встановлено кронштейн. До поперечних елементів рамки кріпляться регулюючі калібри за допомогою різьбового з'єднання. На верхній поверхні регулюючих калібрів виконані прорізи, які забезпечують необхідну ширину робочих каналів решета з врахуванням діаметра перетинки. Перетинка складається з двох гілок, один край яких фіксується в отворах регулюючого калібру, а інший – проходить крізь отвір в натяжнику, який забезпечує її необхідний натяг. Для зменшення впливу на рух зернового вороху по робочій поверхні решета обидва краї прикривалися пластинками.

Решето з круглими поздовжніми перетинками (діаметр поперечного перетину яких становить 3, 4, 5 та 6 мм) складається з кількох секцій (рис. 3, б). Секція цього решета складається із стержнів опуклого перерізу, набраних на поперечну вісь, з проміжними калібруючими шайбами. Направляючі стержні виготовлені однаковими й мають опуклий переріз з однаковою товщиною по всій довжині, причому на одному (передньому) кінці виготовлені вушка для шарнірного кріплення до поперечної вісі. Для усунення утворення сходинок в місці стикування решіт, нижню поверхню прямих кінців попереднього решета оброблювали таким чином, щоб їхня верхня поверхня знаходилась на одному рівні із робочою поверхнею наступного решета.

Основні дослідження проводились на двох решетах. Довжина першого решета з діаметром поздовжніх перетинок 1 та 2 мм становила 1100 мм. Довжина другого решета з діаметром перетинок 3, 4, 5 та 6 мм, яка складалась із 3-х рівних за довжиною ділянок, становила 1200 мм. Ширина решіт обмежена боковими стінками корпусу транспортера становить 100 мм.

В якості оброблюваного матеріалу використовували природній комбайновий ворох озимої пшениці вологістю 16,3 % з вмістом крупних домішок 3,61 %. Крупні домішки склались із решток соломи, рослинних решток бур'янів і їх насіння та інших природних домішок зернового вороху, отриманого із бункера зернозбирального комбайна. Попереднє вилучення легких та дрібних домішок не проводилось.

У всіх залежних дослідах однієї серії використовували рівноцінний початковий матеріал однієї партії, який спочатку перемішували, а потім методом діагонального ділення по діагоналі розподіляли на всі досліди даної серії.

Подачу матеріалу до транспортера здійснювали після його включення при сталому характері руху останнього.

Кожну фракцію, отриману в приймальниках 6 і 7 (рис. 1) зважували окремо.

Дослідження впливу діаметра перетинок решета на просівання зерна крізь його канали проводили змінюючи діаметри поздовжніх перетинок. Для цього використовували решето, на яке встановлювали перетинки діаметром 1 та 2 мм та секції решета (рис. 3, а), в яких використовували перетинки діаметром 3, 4, 5 та 6 мм (рис. 3, б). Зібрані секції решета закріплювали в нижній частині транспортера 2 (рис. 1).

В дослідах по визначенню швидкості руху часток нижнього шару під дією верхніх шарів використовували зйомку відеокамерою. Для чого в кінці ковшового транспортера встановлювалось решето (рис. 4), на бічних поверхнях якого закріплено дві бічні засклені рамки. В нижній частині однієї з них кріпилась лійка з ціною поділок 1 см довжиною 1100 мм, початок якої співпадав з початком решета. Нижній край скла рамок знаходився на рівні робочої поверхні решета. Частина зернових часток було зафарбовано в кілька кольорів. Обробку результатів експериментів проводили на ПЕОМ з використанням програм для обробки цифрового відео Aurora Media Workshop.

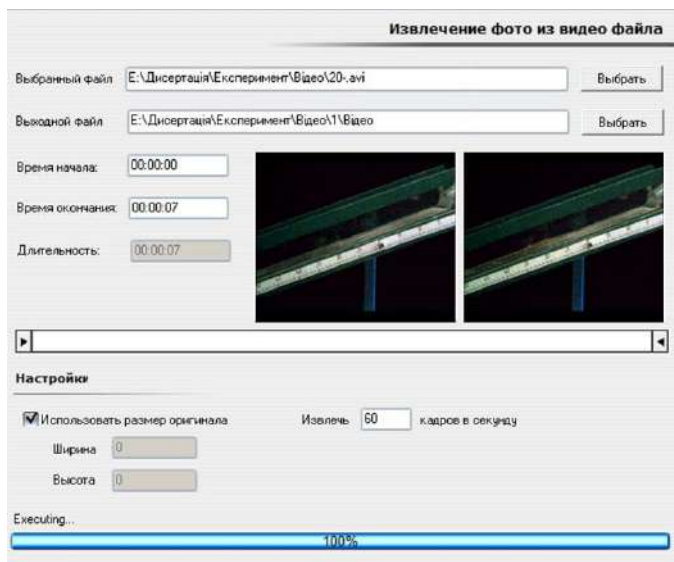


Рис. 4 – Обработка видеоматериалу з використанням програми Auroga Media Workshop

Для візуального спостереження при визначенні робочої довжини решета використовувалися вікна в бокових стінках транспортера. До однієї боковини під вікном кріпили лінійку з ціною поділок 1 см довжиною 1100 мм, початок якої співпадав з початком решета. В приймальнику проходової фракції встановили проміжні перетинки через 5 см.

Дослідження впливу параметрів решета та режимів роботи ковшового транспортера на ефективність виділення крупних домішок із зернового вороху на решеті проводили наступним чином.

В нижній частині корпусу транспортера 2 (рис. 1) встановлювали почергово решето з діаметром поздовжніх перетинок від 1 мм до 5 мм. Встановлення заданої швидкості руху ковшового транспортера 2 здійснювали шляхом зміни передаточного відношення КЗП 15. Нахил робочого органу відносно горизонту на певний кут забезпечували підняттям нижньої частини корпусу 2 на певну висоту.

Вміст крупних домішок змінювали шляхом додавання їх до зернової суміші або вилучення з неї.

Зміну вологості оброблюваного матеріалу проводили шляхом замочування його часток та витримкою протягом трьох діб з періодичним перемішуванням маси.

Величину подачі зернового вороху із бункера 11 змінювали за допомогою положення дозуючої заслінки останнього.

Після проведення кількох повторностей при встановлених значеннях, в залежності від кількості значень та впливу, параметри змінювали в наступній послідовності:

- швидкість руху транспортера;
- кут нахилу робочого органа відносно горизонту;
- діаметр поздовжніх перетинок решета.

Отримані фракції, після проведення кожної повторності досліду, зважували, потім визначали за допомогою решітного класифікатора з решетами з продовгуватими отворами вміст зерна в сході (в крупних домішках).

Характер сепарації зерна на прутковому решеті транспортера-сепаратора показує, що цей процес є складним та залежить одночасно від багатьох факторів, як постійних, так і випадково розподілених за часом. Тому для отримання математичної моделі процесу було використано метод планування багатофакторних експериментів.

Метод планування багатофакторних експериментів використовували при визначенні раціональних значень діаметра поздовжніх перетинок решета, швидкості руху транспортера, кута нахилу транспортера, величини подачі матеріалу, впливу фракційного складу оброблюваного матеріалу та його вологості на ефективність роботи сепаруючої частини транспортера-сепаратора. При цьому задачею цих дослідів було також визначення величини і характеру (напрямку) впливу означених факторів на параметр оптимізації. Критерієм обрано чіткість сепарації – вміст повноцінного зерна у виділених крупних домішках.

Вибір факторів, які підлягають дослідженню при побудові математичної моделі процесу, базувався на відомостях, отриманих після проведення попередніх однофакторних дослідів.

При розробці плану застосовано закодовані значення факторів. При цьому здійснюється перенесення початку координат в центрі (основний рівень) експерименту та вибір масштабу в одиницях варіювання факторів.

Таблиця – Планування експерименту при вивченні процесу сепарації

Досліджуваний фактор	α , град	d , мм	v , м/с	q , кг/(м \times с)
Основний рівень	30	3	1	11
Інтервал варіювання	± 10	± 2	$\pm 0,5$	± 3

Значення факторів, приведені в таблиці, кодували (x_1, x_2, x_3, x_4) та згідно з методиками [5–7] знаходили коефіцієнти регресії b_i .

Значущість коефіцієнтів регресії перевірялась за допомогою рівності нулю коефіцієнтів при квадратичних членах регресії (нуль-гіпотеза). Для цього були проведені додаткові досліди в центрі експерименту, визначено середнє значення \bar{Y}_0 критерію оптимізації в центрі експерименту і розрахована різниця $b_0 - \bar{Y}_0$, яка являється характеристикою кривизни поверхні відгуку. Нуль-гіпотеза приймається, якщо різниця $b_0 - \bar{Y}_0$ не перевищує похибки досліду. Значимість цієї різниці перевіряли за критерієм Стьюдента (t -критерієм).

Потім розрахункове значення $t_{розр}$ порівнювали з табличним значенням, яке обирали за таблицями [5–8] в залежності від рівня значимості $\alpha=0,05$, та ступеня вільності $f_i=N$. Якщо виконувалась нерівність $|b_i| < |\Delta b_i|$, відповідний фактор аналізували щодо вибору іншого інтервалу варіювання, якщо це можливо. При цьому всі необхідні досліди повторювали і, якщо після аналізу відповідний коефіцієнт знову відповідав попередній умові, тоді робили висновок про незначимість впливу фактора x_i на параметр оптимізації Y .

Відтворюваність експериментів визначали за допомогою критерію Кохрена (G -критерію), при цьому необхідною умовою є $G^p < G^T$. У випадку $G^p < G^T$ робиться висновок про не відтворюваність дослідів, а отже виникає необхідність перевірити ефективність регулювань досліджуваного об'єкта, та засоби вимірювань.

Адекватність статистичної математичної моделі перевіряли за допомогою критерію Фішера (F -критерію).

Метою інтерпретації одержаної статистичної моделі є аналіз впливу факторів на критерій оптимізації. При цьому ступінь впливовості фактора оцінювали за величиною коефіцієнта b_i з врахуванням знаку, що перед ним знаходиться, так знак плюс вказує на підвищення критерію оптимізації при збільшенні відповідного фактора і навпаки мінус – зменшення Y при збільшенні x_i .

Визначення потужності, необхідної на привід в дію транспортера-сепаратора N проводили в залежності від швидкості руху транспортера, його кута нахилу, питомого завантаження решета.

Вирішення цієї задачі здійснювали на експериментальній установці, що описана вище. Потужність електродвигуна, яку він витрачає на привід приводного вала ковшового транспортера через клинопасові та зубчаті передачі, визначали за допомогою приладу К–50.

Обробка всіх експериментальних даних здійснювалась за загальноприйнятою методикою [4–8].

Висновок. Розроблена методика дозволяє встановити вплив досліджуваних факторів на роботу транспортера-сепаратора зерноочисної машини.

Література

1. Вдосконалення технологічного процесу очищення зерна зерноочисними машинами загального призначення / М.І. Васильковський, О.М. Васильковський, І.М. Осипов, С.М. Мороз // Вісник ЛДАУ.: Агроінженерні дослідження. – 1999. – №3. – С. 102–107.
2. Совершенствование технологий и рабочих органов зерноочистительных машин / М. Васильковский, М. Косинов, С. Мороз [и др.] // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий наук.–техн. збірник. – Кіровоград: КДТУ. – 2000. – Вип. 29. – С. 36–39.
3. К созданию нового поколения зерноочистительных машин общего назначения / М.И. Васильковский, А.М. Васильковский, М.М. Косинов, С.Н. Мороз // Вісник Харківського державного технічного університету сільськогосподарського господарства. Вип. 22. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – С. 28–32.
4. Машины для послеуборочной поточной обработки семян. Теория и расчет машин, технология и автоматизация процессов / З.Л. Тиц, В.И. Анискин, Г.А. Баскакьян, Н.Г. Гладков и др.; под ред. З.Л. Тица. – М.: Машиностроение, 1967. – 446 с.
5. Мельников С.В. Планирование экспериментов в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. – К.: Колос, 1972. – 200 с.
6. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 199 с.
7. Тамразов А.М. Планирование и анализ регрессионных экспериментов в технологических исследованиях / А.М. Тамразов. – Киев: Наук. думка, 1987. – 176 с.
8. Таблица значений критерия Стьюдента (t -критерия). Статистика в аналитической химии. Режим доступа: <http://chemstat.com.ru/node/17>.

Рецензент д.т.н., проф. М.О. Свірень