

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

На правах рукопису

Довгалоюк Олексій Анатолійович

**Класифікація сипучих продуктів на
сепаруючих конвейєрах у комбікормовій
промисловості**

Спеціальність 05.02.14 "Машини та агрегати харчової промисловості"

Автореферат

*дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук*

Київ - 1994



00778430 (Т)

Дисертацією є рукопис.
Робота виконана в харчових технологій.

Науковий керівник: доктор технічних наук, академік
Аністратенко. В.О.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
Кривопляс О.П
кандидат технічних наук,
Рікославський В.В

Провідна організація: Державний Український науково-дослідний і конструкторський інститут продовольчого машинобудування, Мінмашпрому України.

Захист відбудеться "22" грудня 1994 р. у 14 годин
на засіданні спеціалізованої Ради Д.068.17.04. Українського Державного університету харчових технологій за адресою: 252017, м. Київ-17, вул. Володимирська, 68, ауд. А-311.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Українського Державного університету харчових технологій.

Автореферат розісланий "21" листопада 1994 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук

М.І.Сороколів

Загальна характеристика роботи

Актуальність теми. Однією з найважливіших технологічних операцій у процесах приймання, переробки і зберігання зерна є сепарування, іншими словами розділ сипучих матеріалів на фракції, які відрізняються властивостями часток. Найбільшого поширення у комбікормовій промисловості набуло ситове сепарування, яке ґрунтується на розподілі сумішей за геометричними ознаками частин: товщиною, шириною і формою поперечного перерізу. Класифікація сипучих продуктів хоча і не основний технологічний процес при виготовленні комбікормів, але від його якості залежить увесь технологічний процес виробництва комбікормів. Він застосовується і при одержанні сировини, і в процесі приготування комбікормів, як розсипних, так і гранульованих, а також на стадії контролю готової продукції. Від якості процесу сепарування залежить насамкінець і якість готового продукту. Тому вдосконалення існуючих і розробка нових механізмів для класифікації сипучих продуктів є актуальним і важливим завданням, яке частково можна вирішити за допомогою впровадження сепаруючих конвейерів.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження можливості інтенсифікації роботи сепаруючого конвейера, оцінка та вибір раціональних параметрів його основних вузлів і режимів роботи при класифікації сипучих продуктів у комбікормовій промисловості.

Основні завдання наукового дослідження

1. Виявити фактори, що впливають на ефективність і продуктивність роботи сепаруючого конвейера при класифікації продуктів подрібнення зерна.
2. Побудувати математичну модель процесу класифікації зернової крупинки.
3. Проаналізувати і оптимізувати одержані математичні залежності, знайти найефективніший режим роботи сепаруючого конвейера.
4. Перевірити отримані результати у промислових умовах.

5. Визначити техніко-економічну ефективність використання сепаруючого конвейєра.

Наукова новизна досліджень

1. На рівні винаходу запропонований новий механізм для класифікації сипучих продуктів - сепаруючий конвейєр.

2. Вивчений механізм виникнення призм випинання перед робочими органами сепаруючого конвейєра та їх вплив на інтенсивність перемішування матеріалу.

3. Визначені фактори, які мають найбільший вплив на ефективність процесу просіювання.

4. Одержані рівняння, які описують процес сепарування, та знайдені оптимальні значення чотирьох основних факторів: навантаження, швидкості ланцюга, висоти скребка та крупності сировини.

5. Теоретично знайдено та експериментально визначено наявність критичних швидкостей ланцюга, виходячи з яких можна рекомендувати висоту скребоків конвейєру.

Впровадження наукових розробок

Результати дослідів з інтенсифікації роботи сепаруючого конвейєра втілені в промислових зразках на таких підприємствах:

- Пологовському КХП, потужністю 600 т комбікорму на добу.
- Калитянському комбікормовому заводі, потужністю 750 т на добу.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень й висновків. Вони підтверджуються використанням у роботі основних положень теорії просіювання сипучих продуктів, теорії багатофакторного експерименту і статистичного аналізу одержаних результатів.

Достовірність результатів експериментальних дослідів забезпечена використанням методики планування і проведення дослідів, математичного апарату, який вміщує математичну статистику, використання ЕОМ, сучасних приладів і апаратури. Оцінка експлуатаційних показників проводилась у виробничих умовах.

Практична цінність роботи

1. Розроблено новий вид обладнання для класифікації сипучих продуктів - сепаруючий конвейєр.

2. Річний економічний ефект від втілення промислових зразків сепаруючого конвейєра становив у цінах 1991 року:

- 12207 крб. - на ділянці приймання вапняного борошна, впровадженний на Пологовському КХП, потужністю 600 т комбікорму на добу.

- 5895 крб. - на ділянці контролю крупності подрібнення зернової сировини, встановлений на Калигянському комбікормовому заводі, потужністю 750 т на добу.

3. Рекомендації й висновки, зроблені у роботі, бажано використовувати при проектуванні сепаруючих конвейєрів і використовуванні їх на підприємствах.

Особиста участь автора в одержанні наукових результатів

- Праналізовано літературні джерела, які стосуються теми дисертаційної роботи.
- Разом з науковим керівником поставлені завдання та визначена мета робіт відповідно до характеру проблеми.
- Аспірантом запропонована методика й експериментальне устаткування для досліджень.
- Проведені лабораторні досліди з визначення чинників, які найбільше впливають на процес сепарування.
- Оптимізована робота сепаруючого конвейєра.
- Узагальнені результати досліджень й зроблені висновки.

Апробація роботи. З теми дисертації була доповідь. Вона ухвалена на засіданні кафедри "Машини та апарати харчових виробництв" УДУХТ. Про основні результати роботи йшлося на республіканській науково-технічній конференції в УДУХТ (вересень 1991 р.), на нараді у Мінсільгоспроді (лютий 1994 р.), наукових нарадах у КХП (1989-1991 рр.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано сім друкованих робіт.

Структура та обсяги роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох частин, висновків, додатків і списку літератури. Робота виконана на 138 сторінках тексту, має 40 рисунків, 15 таблиць і 5 додатків. Список латератури складається з 105 джерел.

Об'єкти та методи досліджень

Сепарування сипучих матеріалів - велика загальноінженерна проблема для сільського господарства, борошно-круп'яної, харчової, комбікормової та інших галузей промисловості. Найбільшу гостроту ця проблема має для розділення зернових матеріалів, що зумовлено вимогами до ведення самого процесу сепарування та його технологічної ефективності.

Вивченням властивостей і розмірних характеристик зернових матеріалів у різний час займалися М.Є.Летошинцев, П.Ф.Єгоров, І.Є.Кожуховський, І.Є.Мамбиш, М.Г.Гладков та ін. Розроблені способи та обладнання для розділення зернових матеріалів за формою та властивостями поверхні, за комплексом фізико-механічних властивостей, якщо є різниця у питомій вазі часток матеріалу, або за їх електричними властивостями. Відоме також обладнання для розділення зернових сумішей за оптичними властивостями, вологістю тощо. Використання тих чи інших способів розділення сипучих матеріалів обумовлено як кінцевою метою процесу сепарування, так і можливістю досягнення високого технологічного ефекту.

У технологічних процесах виробництва комбікормів операції сепарування на відміну від інших зернопереробних підприємств пов'язані в основному з очищенням сировини і контролем готової продукції. Це визначає можливість застосування більш простих сепаруючих машин.

Чимало операцій сепарування у комбікормовій промисловості виконують машини універсального призначення, які застосовуються на зернопереробних підприємствах. Однак деякі операції сепарування потребують встановлення додаткового обладнання, яке використовується лише у комбікормовій промисловості. Це пов'язано з

особливостями матеріалів, що обробляються, важкосипучістю, забрудненістю та ін.

Виходячи з промислового досвіду комбікормових підприємств і аналізу літературних джерел щодо роботи сепаруючого обладнання, необхідно виділити таке:

1. Сепаруючі машини, що найчастіше застосовуються у комбікормовій промисловості, запозичені із зернопереробної галузі й використовуються без урахування специфіки підприємств. Тому іноді вони не забезпечують необхідні параметри роботи, мають велику метало- і енергосміність.

2. Існуючі способи сепарування потребують досить великих динамічних навантажень, а це зменшує надійність обладнання і негативно впливає на стан здоров'я обслуговуючого персоналу.

3. Для надійної роботи сепаруючого обладнання необхідно встановлення дозаторів.

4. В існуючих видах сепаруючих машин ситові корпуси знаходяться одне на одному, що ускладнює його обслуговування.

5. Серед сепаруючих машин комбікормової галузі немає машин, у яких була б реалізована ідея сумісності кількох операцій, яка дає можливість краще використовувати промислові площі.

Для усунення деяких недоліків було розроблено сепаруючий конвейер. Новизна та актуальність цієї пропозиції підтверджена авторським свідоцтвом. Сепаруючий конвейер було вирішено встановити на двох ділянках технологічного процесу виготовлення комбікормів. Перша ділянка - класифікація зернової крупки після дробарок. Це складна ділянка, оскільки вона потребує великої продуктивності (20-30 т/год). Друга ділянка - приймання вапняного борошна. Спеціального сепаратора для цього не виготовляють і крім того на цій ділянці обов'язково використовується ланцюговий транспортер, який може бути перероблений у сепаруючий конвейер.

Схема сепаруючого конвейера зображена на рис. 1. Він складається із завантажувального і розвантажувальних патрубків

2 і 3, коробка 4, у якому між зірочками 5 пересувається ланцюг 6 із скребками 7.

Сепаруючий конвейєр працює так (рис. 1). Вхідний матеріал надходить по патрубку 1 на сито 8 шаром, що не перевищує відстань між верхнім ситом і кришкою конвейєра. Скребки 7 верхньої гілки ланцюга 6 переміщують матеріал вздовж сита, розпушуючи його, і тим

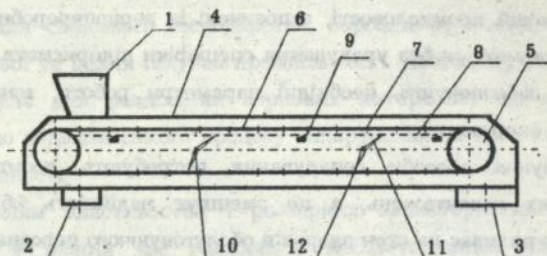


Рис. 1. Схема сепаруючого конвейєра

1 - завантажувальний патрубок; 2, 3 - розвантажувальні патрубки; 4 - короб; 5 - зірочки; 6 - ланцюг; 7 - скребки; 8 - сита; 9 - пружинні шайби; 10 - ситоочисники; 11, 12 - плечі ситоочисників.

самим сприяють переміщенню проходових часток вниз до отворів сит. Крім того, скребки значною мірою протискують частки, що застряли через отвори сит. Крупну фракцію матеріалу чи домішки скребки виводять у патрубок 3. Увесь матеріал, пройшовши через отвори сит 8 скребками долішнього ланцюга, переміщується до розвантажувального патрубку 2. Водночас з перемішуванням матеріалу скребки нижнього ланцюга, рухаючись, діють на плече 12 ситоочисника 10, який повертається на шарнірі й своїм плечем 11 вдаряє знизу по ситу 8, стряхуючи та частково чистячи його від часток, що застряли.

Для проведення дослідів був розроблений лабораторний стенд сепаруючого конвейєра, принципова схема якого зображена на рис. 2. Він складається з бункера 1, сепаруючого конвейєра 2, варіатора швидкості 3, ємності для сходу 4 і ємності для проходу 5, шлюзового постачальника 6, і завантажувального шнека 7. У майстерні філіалу був виготовлений діючий макет конвейєра довжиною 4,5 м. Бічні стінки конвейєра по усій довжині мають скляні вставки, що дає змогу

спостерігати процес по довжині конвейєра. У конвейєр встановлювали сита штамповані з отворами діаметром 2 чи 3 мм. Межі можливого змінення основних факторів: швидкість ланцюга - 0,4...0,9 м/с, подача продукту (навантаження) - 2,0-5,5 т/(год*м²), вхідний склад сировини по сходовій фракції - 0,09...0,23, висота скребка - 25...50 мм.

На лабораторному стенді сепаруючого конвейєра були досліджені різні режими процесу сепарування, проведений дробний факторний експеримент і одержані математичні залежності, що описують процес сепарування.

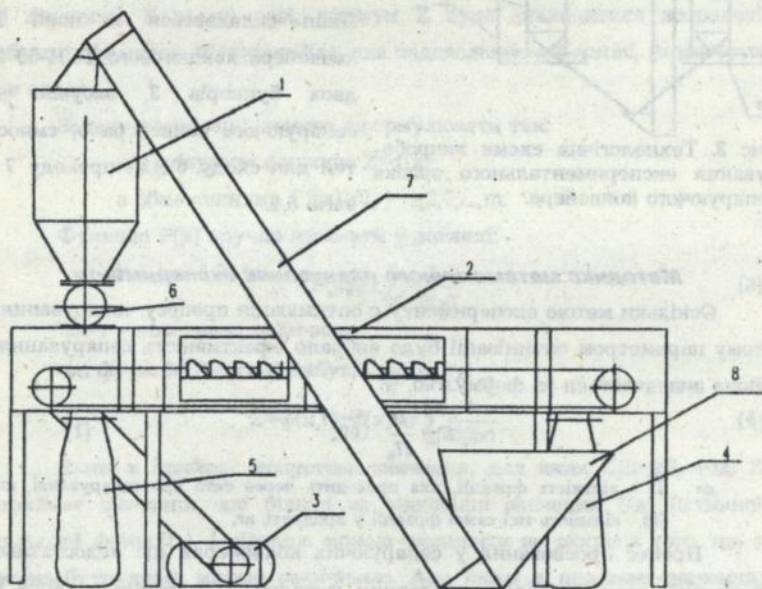


Рис 2. Схема лабораторного стенду сепаруючого конвейєра:

1 - бункер; 2 - сепаруючий конвейєр; 3 - варіатор швидкостей;
4 - ємність для сходу; 5 - ємність для проходу; 6 - шлюзовий
постачальник; 7 - завантажувальний шнек; 8 - завантажувальний
лоток.

Ця математична модель процесу була оптимізована, а одержані результати впроваджені та перевірені на експериментальному зразку сепаруючого конвейєра. Для цього

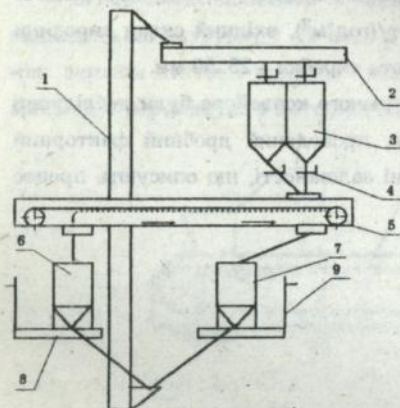


Рис 3. Технологічна схема випробування експериментального зразка сепаруючого конвейєра.

в умовах стендового корпусу Київського інституту хлібопродуктів був розроблений та змонтований на базі конвейєра ТСП-50 сепаруючий конвейєр. Він був встановлений у технологічній лінії, показаній на рис. 3.

Лінія складається із норії 1, конвейєра ланцюгового ТСП-50 2, двох бункерів 3, засувки 4, сепаруючого конвейєра 5, емностей для сходу 6 для проходу 7 і вагів 8,9.

Методика математичного планування експерименту

Оскільки метою експерименту є оптимізація процесу сепарування, тому параметром оптимізації було вибрано ефективність сепарування. Вона визначається за формулою, %

$$E = \frac{\Pi}{\Pi_0} \cdot 100; \quad (1)$$

де Π - кількість фракції, яка проходить через сито при сепаруванні, кг;
 Π_0 - кількість тієї самої фракції у продукті, кг.

Процес просіювання у сепаруючих конвейєрах ще недостатньо вивчений, тому найбільш придатним методом планування дослідів є метод багатфакторного експерименту. За допомогою цього методу була одержана математична модель процесу класифікації, яку необхідно оптимізувати. Задачі такого типу, тобто задачі оптимізації функції, яка має нелінійну залежність з нелінійними обмеженнями є предметом спеціального розділу математики - нелінійного програму-

вання. Для розв'язання нашої оптимізаційної задачі був застосований метод узагальненого критерію або метод "штрафів".

Основна ідея методу штрафної функції полягає у перетворенні задачі мінімізації функції

$$Z=f(x)$$

з певними обмеженнями, накладеними на x , у задачу пошуку мінімуму без обмежень функції

$$Z=f(x)+p(x). \quad (2)$$

Функція $P(x)$ є штрафною. Необхідно, щоб при порушенні обмеження вона "штрафувала" функцію, іншими словами, збільшувала її значення. У цьому разі, мінімум Z буде знаходитися всередині області обмежень. Функція $P(x)$, яка задовольняє цій умові, може бути не однією.

Задачу мінімізації можна сформулювати так:

мінімізувати функцію $Z=f(x)$

з обмеженнями $C_j(x)>0, j=1,2,3,\dots,m$.

Функцію $P(x)$ зручно записати у вигляді:

$$P(x)=r \sum_{j=1}^m \frac{1}{C_j(x)} \quad (3)$$

де r - позитивна величина.

Тоді функція $Z=\varphi(x,r)$ набуває вигляду:

$$Z=\varphi(x,r)=f(x)+r \sum_{j=1}^m \frac{1}{C_j(x)} \quad (4)$$

Якщо x приймає допустимі значення, для яких $C_j(x)\geq 0$, тоді Z приймає значення, які більші за відповідні значення $f(x)$ (істинної цільової функції), і різницю можна зменшити за рахунок того, що r може бути дуже малою величиною. Але якщо x приймає значення, котрі хоча і допустимі, але близькі до межі області обмежень, і хоча б одна із функцій $C_j(x)$ близька до нуля, тоді значення функції $P(x)$, а також функції Z стануть дуже великими. Таким чином, вплив функції $P(x)$ полягає в створенні "гребня з крутими краями" вздовж кожної межі області обмежень. Отже, якщо пошук почався із допустимої точки і здійснюється пошук мінімуму функції $\varphi(x,r)$ без обмежень,

тоді мінімум буде досягнутий всередині допустимої області для задач з обмеженнями. Оскільки g дуже мала величина, і вплив $P(x)$ буде також малим у точці мінімуму тоді ми можемо зробити точку мінімуму функції без обмежень такою, що збігається з точкою мінімуму функції $f(x)$ з обмеженнями.

На основі цього методу була виконана робота, кінцевим результатом якої стала програма, яка дає змогу оптимізувати роботу сепаруючих конвейєрів. Програма написана на мові Quick-Basic. Вона має меню, що дозволяє міняти вхідні параметри (фактори) та задавати вигляд рівняння регресії. Ця програма може бути використана для оптимізації роботи сепаруючих конвейєрів, що використовуються для інших умов, чи в інших галузях промисловості. Робота з її створення та розрахунки з оптимізації проводилися на ЕОМ IBM PC AT 386 SX. За допомогою розробленої програми були оптимізовані одержані залежності та знайдені оптимальні значення факторів.

Результати дослідів.

Попередні дослідження впливу різних факторів на продуктивність сепаруючого конвейєра

На першому етапі роботи досліді проводилися із застосуванням спеціально розробленого лабораторного стенду сепаруючого конвейєра рис. 2. Метою цих дослідів було визначення факторів, які максимально впливають на ефективність роботи сепаруючого конвейєра. Ефективність роботи конвейєра визначається двома показниками: ефективністю просіювання та продуктивністю за прохідною фракцією. У процесі проведення цих дослідів було встановлено, що при роботі сепаруючого конвейєра можливі кілька режимів транспортування продукту. Ці режими роботи пов'язані з появою так названих призми випинання продукту. Вони з'являються перед скребками при транспортуванні продукту. Їх поведінка і розташування забезпечує два основних режими роботи сепаруючого конвейєра: режим транспортування та режим сепарації. У режимі транспортування продукт переміщується єдиним потоком, а у режимі сепарації - призми випинання локалізовані (рис. 4).

Кількісно це підтверджують результати залежностей продуктивності та ефективності від навантаження на сепаруючий конвейер. На ділянці I призми випинання локалізовані і це забезпечує пропорційну залежність (рис. 5, 6). Ділянка II показує, що з зростанням навантаження призми випинання зливаються, а це призводить до зменшення перемішування і як наслідок - відбувається падіння продуктивності сепаруючого конвейера.

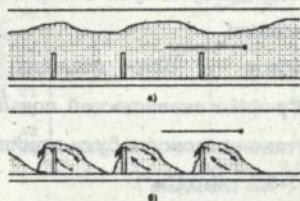


Рис 4 Формування призми випинання

- а) режим транспортування;
б) режим сепарування.

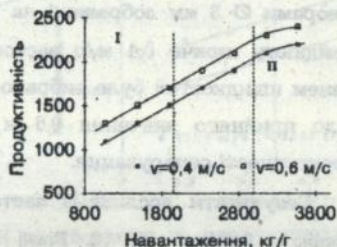
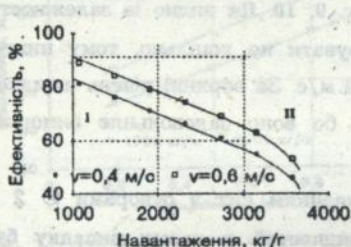


Рис. 5, 6 Залежності ефективності просіювання та продуктивності сепаруючого конвейера від навантаження при сталих значеннях швидкості ланцюга, при застосуванні сит 3 мм.

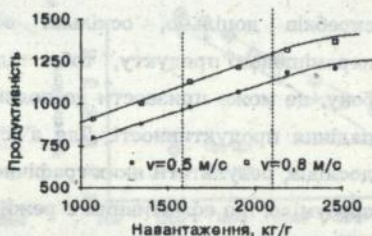
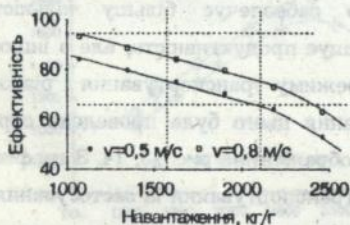


Рис. 7, 8 Залежності ефективності просіювання та продуктивності сепаруючого конвейера від навантаження при сталих значеннях швидкості ланцюга, при застосуванні сит 2 мм.

Як видно, з рис. 5, 6 область навантажень між 2000 та 3000 кг/г (питоме навантаження 3,3-5,0 т/(год*м²)) забезпечує непогані показники роботи сепаруючого конвейєра, і тому можуть бути використані як рівні у дробовому факторному експерименті.

Аналогічні залежності мають місце і при дослідах із застосуванням сит з отворами \varnothing 2 мм. Графіки залежностей показані на рис. 7, 8. У цьому випадку рівні навантажень можуть бути прийняті 1600 та 2200 кг/год (питомі значення - 2,7-3,7 т/(год*м²).

Як показали досліди, другий фактор, який досить інтенсивно впливає на результати роботи сепаруючого конвейєра, це швидкість ланцюга. Залежності ефективності просіювання та продуктивності сепаруючого конвейєра від швидкості ланцюга при застосуванні сит з отворами \varnothing 3 мм зображені на рис. 9, 10. Як видно із залежностей, швидкість нижче 0,4 м/с застосовувати не доцільно, тому нижчим рівнем швидкостей було вибрано 0,4 м/с. За верхній рівень швидкості було прийнято значення 0,6 м/с, бо воно задовольняє вимогам з ефективності сепарування.

Результати дослідів із застосуванням сит з отворами \varnothing 2 мм показані на рис. 11, 12. Рівні швидкостей у цьому випадку були прийняті 0,5-0,8 м/с.

Як показали досліди, крок скребоків не останній фактор у питанні інтенсифікації процесу сепарування. З одного боку, зменшення кроку скребоків доцільно, оскільки воно забезпечує більшу кількість переміщеного продукту, тобто підвищує продуктивність, але з іншого боку, це може призвести до появи режиму транспортування і різкого падіння продуктивності. Для з'ясування цього була проведена серія дослідів, результати яких графічно зображені на рис. 13, 14. З графіків зрозуміло, що ефективним є режим транспортування із застосуванням кроку скребоків - 160 мм.

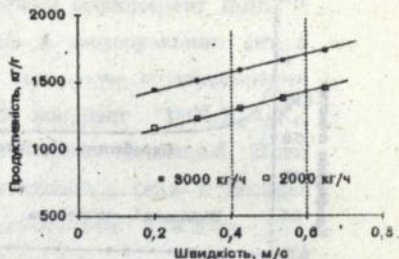
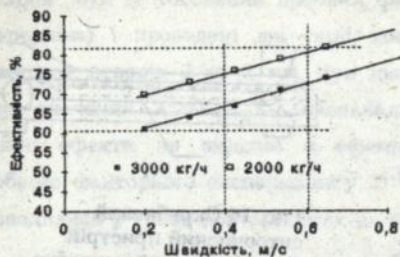


Рис. 9, 10. Залежності ефективності просіювання та продуктивності сепаруючого конвейєра від швидкості ланцюга при сталих значеннях навантаження і застосуванні сит 3 мм.

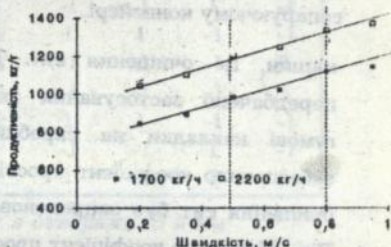
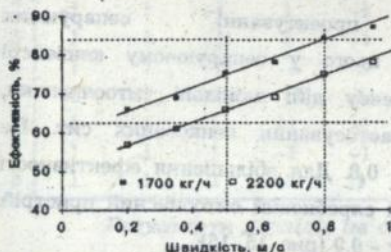


Рис. 11, 12. Залежності ефективності просіювання та продуктивності сепаруючого конвейєра від швидкості ланцюга при сталих значеннях навантаження і застосуванні сит 2 мм.

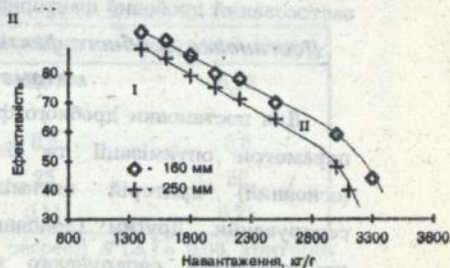
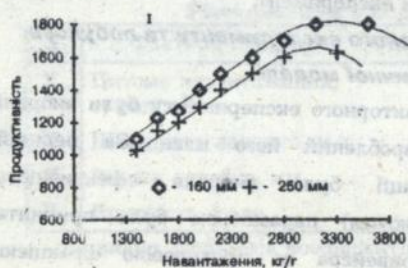


Рис. 13, 14 Залежність продуктивності та ефективності сепаруючого конвейєра від навантаження при різних значеннях крока між скребками.



Рис 15. Вплив ситоочисних пристроїв на очищення ситової поверхні у сепаруючому конвейєрі.

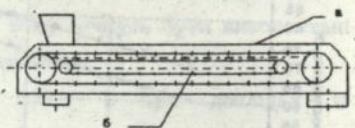


Рис. 16 Скребковий ситоочисний пристрій.
а - сепаруючий конвейєр
б - ситоочисний пристрій

Ще одна проблема, яку треба вирішувати при проектуванні сепаруючих машин, це очищення сит. Для цього у сепаруючому конвейєрі передбачено застосування комплексу дій: важільні ситоочисники, гумові накладки на скребки, застосування зенкованих сит. Це забезпечило коефіцієнт просвіту - 0,8. Для збільшення ефективності очищення сит був запропонований скребковий ситоочисний пристрій. Він забезпечив коефіцієнт просвіту - 0,9 (рис. 15, 13).

Взагалі, ефективність роботи сепаруючого конвейєра залежить від багатьох факторів, причому їх вплив не можливо оцінити однозначно. Тому цей процес необхідно дослідити у комплексі. Для цього був застосований дробовий факторний експеримент.

Постановка дробного факторного експерименту та побудова математичної моделі

Для постановки дробного факторного експерименту були вибрані параметри оптимізації та розроблений його план. За перший (основний) критерій оптимізації була вибрана ефективність сепарування. Другим (доповнюючим) параметром була прийнята продуктивність сепаруючого конвейєра за проходивою фракцією, оскільки у комбікормовій промисловості найчастіше необхідно виділяти домішки у сипучих речовинах у кількості 2-15 %. Для

дослідів був застосований дробний факторний експеримент ДФЕ 2^{4-1} (піврепліка) і проведені дві серії дослідів з застосуванням сит з діаметром отворів 3 та 2 мм, при цьому генеруюче співвідношення мало значення $X_4 = X_1 X_2 X_3$, визначальний контраст $1 = X_1 X_2 X_3 X_4$; лінійні ефекти не змішані з ефектами парних взаємодій. План дробного факторного експерименту 2^{4-1} наведений у табл. 1. Досліди проводилися у трьох повторностях на ситах з отворами 2 та 3 мм.

Таблиця 1

План дробного факторного експерименту.

№	X_1	X_2	X_3	X_4	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_1 X_4$	$X_2 X_3$	$X_2 X_4$	$X_3 X_4$
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1
2	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1
3	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
4	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1
5	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1
6	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1
7	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Результати дослідів на ситах з отворами \varnothing 3 мм

Рівні факторів, які були застосовані при проведенні дослідів, наведені у табл. 2. Результати розрахунків і основні статистичні показники подані у табл. 3.

Таблиця 2

Рівні факторів при досліді з ситами \varnothing 3 мм.

X_i	Фактори процесу	Нижній рівень	Верхній рівень
X_1	Питоме навантаження, $\tau/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$	3,97	5,13
X_2	Швидкість ланцюга, м/с	0,4	0,6
X_3	Висота скребка, мм	25	50
X_4	Крупність, доля	0,11	0,21

Як видно, дисперсія коефіцієнтів регресії $S^2(b_i) = 0,08$, критерій Стюдента, при рівні значущості - 5 % та 16-ти ступенях свободи дорівнює 2.12. Значущість коефіцієнтів перевіряли порівняно з довірним інтервалом $\varepsilon = t_{0,95} \sqrt{S^2(b_i)} = 0,61$, тобто коефіцієнти менші

Результати розрахунків і аналізу рівнянь регресії

Таблиця 3

Серія дослідів з застосуванням сит \varnothing 3 мм

Коефіцієнт регресії	Значення коефіцієнта		Статистичний показник	Значення показника	
	Продуктивність	Ефективність		Продуктивність	Ефективність
B_0	1590	70,7	Дисперсія відтворюваності	513,7	0,66
B_1	142	-3,27	Дисперсія коефіцієнтів	64,2	0,08
B_2	97,13	4,171	Довірний інтервал	16,99	0,61
B_3	33,04	1,747	Критерій Стюдента	2,12	2,21
B_4	-23,4	3,171	Дисперсія адекватності	1196	2,09
$B_{14}=B_{23}$	-18,9	-0,83	Табличний критерій Фішера	3,2	3,2
$B_{24}=B_{13}$	8,37	-0,04	Розрахунковий критерій		
$B_{34}=B_{12}$	8,37	-0,31	Фішера	2,33	3,16

Серія дослідів з застосуванням сит \varnothing 2 мм.

Коефіцієнт регресії	Значення коефіцієнта		Статистичний показник	Значення показника	
	Продуктивність	Ефективність		Продуктивність	Ефективність
B_0	1151	75,03	Дисперсія відтворюваності	270	0,608
B_1	102,8	-4,62	Дисперсія коефіцієнтів	33,8	0,076
B_2	67,5	4,5	Довірний інтервал	12,3	0,58
B_3	26,4	1,29	Критерій Стюдента	2,12	2,12
B_4	-17,2	2,7	Дисперсія адекватності	692,3	1,2
$B_{14}=B_{23}$	-15,3	-0,63	Табличний критерій Фішера	3,2	3,2
$B_{24}=B_{13}$	1,467	0,073	Розрахунковий критерій		
$B_{34}=B_{12}$	4,832	0,0206	Фішера	2,56	1,97

від цього значення не значущі. В результаті рівняння за ефективністю сепарування має остаточний вигляд:

$$F=70,7-3,27x_1+4,174x_2+1,747x_3+3,17x_4-0,83x_2x_3-0,83x_1x_4 \quad (5)$$

Результати розрахунків і основні статистичні показники для продуктивності за проходовою фракцією наведені у таблиці 3. Рівняння для показника продуктивності за проходовою фракцією має остаточний вигляд:

$$Y=1590+142x_1+97x_2+33x_3-23,4x_4-18,9x_2x_3-18,9x_1x_4 \quad (6)$$

Результати дослідів на ситах з отворами \varnothing 2 мм

Результати цієї серії дослідів відрізняються лише кількісними показниками і збігаються за своїм характером з процесом сепарування на ситах 3 мм. Рівні факторів, які були застосовані при проведенні дослідів, наведені у табл. 4.

Таблиця 4

Рівні факторів при дослідях з ситами \varnothing 2 мм.

X_1	Фактори процесу	Нижній рівень	Верхній рівень
X_1	Питоме навантаження, т/(год*м ²)	2.71	3.64
X_2	Швидкість ланцюга, м/с	0.5	0.8
X_3	Висота скребка, мм	25	50
X_4	Крупність, доля	0.09	0.23

Результати розрахунків і основні статистичні показники наведені у табл. 3. У результаті рівняння з ефективності сепарування має остаточний вигляд:

$$F=75,03-4,62x_1+4,5x_2+1,29x_3+2,73x_4-0,63x_2x_3-0,63x_1x_4 \quad (7)$$

Остаточний вигляд рівняння регресії за продуктивністю має вигляд:

$$Y=1151+102,8x_1+67,53x_2+26,4x_3-17,2x_4-15,3x_2x_3-15,3x_1x_4 \quad (8)$$

Одержані рівняння адекватно описують область значення факторів за показниками продуктивності та ефективності сепарування. Це видно з одержаних значень критерія Фішера, які у

дослідах менші, ніж табличні значення (табл. 3). Досліди за планами другого порядку не проводилися, оскільки при проведенні дослідів у нульових точках різниця між вільними членами рівнянь та результатами дослідів була не значущою. Одержані рівняння необхідно проаналізувати та провести оптимізацію з ефективності сепарування.

Аналіз впливу факторів на результати сепарування

Вигляд одержаних залежностей говорить про те, що вони мають однакову структуру, в яку входять як лінійні значимості усіх факторів, так і міжфакторні взаємодії навантаження і крупності (x_1x_4), та швидкості ланцюга і висоти скребка (x_2x_3). Найбільш значущими є навантаження та швидкість ланцюга. Менші за значеннями висота скребка та крупність. Аналізуючи лінійні коефіцієнти не можна однозначно оцінити вплив кожного з факторів, бо мають місце міжфакторні взаємодії. Саме вони викликають нелінійність одержаних залежностей.

Для їх оцінки були отримані приватні перерізи гіперповерхнею (рівняння 5, 6, 7, 8), площиною $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n=0$, де $x_1 \dots x_n$ - усі фактори рівняння, крім тих, для яких будується графік. Такі графіки для навантаження та крупності показані на рис. 17, 18. Перший з них побудований згідно з рівнянням 5 при сталих значеннях ефективності, а другий - по рівняння 6 при сталих значеннях продуктивності. Як

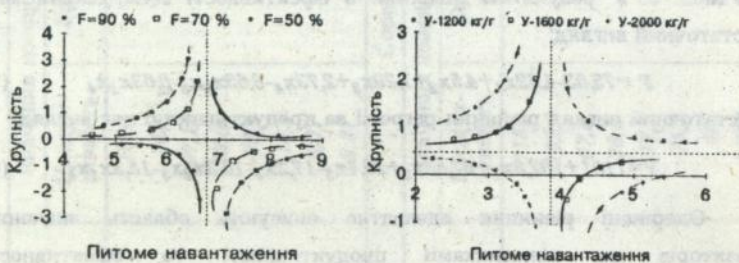


Рис. 17, 18. Взаємний вплив навантаження та крупності у залежностях (5, 6), при сталих значеннях ефективності та продуктивності сепарування та нульових рівнях швидкості й висоти скребка ($X_2=0, X_3=0$).

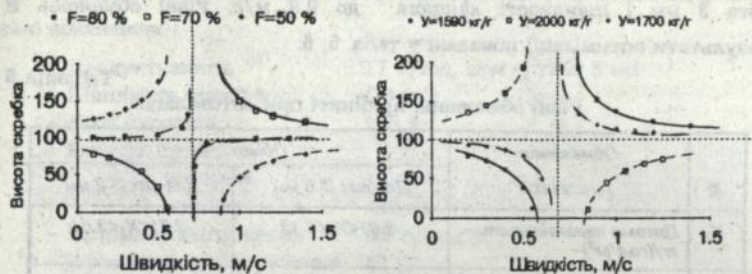


Рис. 19, 20. Взаємний вплив швидкості ланцюга і висоти скребка в залежностях (5, 6) при сталих значеннях ефективності та продуктивності сепарування й нульових рівнях крупності та питомого навантаження ($X_2=0$, $X_4=0$).

видно з графіків, критичні точки гіпербол мають не однакові координати. Область, у якій проводилися дослід у першому випадку, знаходиться у II квадранті, а у другому в IV квадранті. Тому для підвищення ефективності необхідно зменшувати питоме навантаження та підвищувати крупність, а для підвищення продуктивності підвищувати їх. Аналогічні залежності мають місце і для дослідів з застосуванням сит 2 мм (рівняння 7, 8).

При аналізі взаємодії швидкості ланцюга та висоти скребка були побудовані графіки (рис 19, 20). На них зображені залежності за рівняннями 5, 6 при сталих значеннях відповідних критеріїв. Як видно, у цьому разі критичні точки гіпербол майже збігаються. Крім того, критичні точки знаходяться близько до області досліджень, тобто, при швидкості ланцюга до 0,67 м/с для підвищення ефективності та продуктивності сепарування треба підвищувати висоту скребка, а для швидкості понад 0,67 - зменшувати її. Аналогічні залежності мають місце і для дослідів із застосуванням сит 2 мм (рівняння 7, 8).

Для оптимізації рівняння регресії за основним критерієм - ефективністю сепарування був застосований метод "штрафних функцій", реалізований у спеціальній програмі для ПЕОМ. Оптимізація проводилася у двох точках з обмеженнями факторів у рівнях дослідів із ситами 3 та 2 мм і у третій точці при застосуванні

сита 3 мм і швидкості ланцюга до 0,8 м/с. Рівні обмежень й результати оптимізації показані у табл. 5, 6.

Таблиця 5

Рівні обмежень, прийняті при оптимізації

X_i	Обмежувачі показники	Обмеження	
		Для сит \varnothing 3 мм	Для сит \varnothing 2 мм
X_1	Питома навантаження, кг/(год*м ²)	$3.97 < X_1 < 5.13$	$2.71 < X_1 < 3.64$
X_2	Швидкість ланцюга, м/с	$0,4 < X_2 < 0,8 (0,8)$	$0,5 < X_2 < 0,8$
X_3	Висота скребка, мм	$25 < X_3 < 50$	$25 < X_3 < 50$
X_4	Крупність, (доля схода)	$0,11 < X_4 < 0,21$	$0,09 < X_4 < 0,23$

Таблиця 6

Результати оптимізації за критерієм ефективності сепарування

Фактори процесу		Сита \varnothing 3 мм		Сита \varnothing 2 мм
		$X_2 < 0.6$ м/с	$X_2 < 0.8$ м/с	$X_2 < 0.8$ м/с
F	Ефективність, %	83	92	88
Y	Продуктивність, кг/год	1562	1732	1103
X_1	Питома навантаження, кг/(год*м ²)	3.97	3.97	2.71
X_2	Швидкість ланцюга, м/с	0.6	0.8	0.8
X_3	Висота скребка, мм	50	25	50
X_4	Крупність (доля схода)	0.21	0.21	0.23

Одержані результати оптимізації були перевірені експериментально. Для цього на лабораторному стенді була проведена серія дослідів. Статистична обробка одержаних результатів показала, що розрахункові значення критерія Фішера не перевищують табличних, тобто одержані результати адекватні дослідницьким.

З урахуванням отриманих результатів оптимізації був спроектований і змонтований експериментальний зразок сепаруючого конвейєра. Він був встановлений у технологічній схемі (рис. 3). Перевірка роботи сепаруючого конвейєра проводилася із застосуван-

ням продуктів подрібнення пшениці. При проведенні дослідів одержані такі показники:

- Продуктивність 17 т/год, при ситі \varnothing 3 мм
- Швидкість скребка 0,8 м/с
- Крок скребоків 250 мм
- Розміри сита:
 - довжина 13 м
 - ширина 500 мм
- Питоме навантаження 3,2 т/(год*м²)
- Ефективність сепарування 82 %

Впровадження у промисловості

З урахуванням одержаного досвіду був спроектований та виготовлений на Одеському заводі "Продмаш" сепаруючий конвейєр К4-УТС-500.

Основні планові параметри роботи сепаруючого конвейєра:

1. Габаритні розміри, мм не більше

- довжина 17600
- ширина 1600
- висота 1600
- ширина короба (сита) 500±2
- крок скребоків, мм 125

2. Швидкість ланцюга, м/с 0,8

3. Продуктивність при просіюванні подрібненого зерна, т/год:

- на ситі \varnothing 2 мм 18
- на ситі \varnothing 3 мм 25

4. Ефективність сепарування, не нижче % 80

5. Потужність встановленого двигуна, кВт 3,0

Конвейєр пройшов заводські випробовування і був встановлений на Калитянському комбикормовому заводі в 1993 р., але в зв'язку з реконструкцією заводу виробнича перевірка ще не проводилася. Економічний ефект від впровадження одного конвейєра 5895 крб/рік¹ для комбикормового заводу потужністю 750 т на добу.

Другий сепаруючий конвейєр для контролю за крупністю при приманні вапняного борошна був впроваджений на Пологівському КХП у 1991 р. Його основні характеристики:

¹ За цінами 1991 р.

1. Продуктивність, т/год	7.0
2. Ефективність сепарування, не нижче %	90
3. Довжина, м	4.0
4. Ширина, м	0.2
5. Швидкість ланцюга, м/с	0.6
6. Розмір отворів сита, мм	10x80
7. Висота скребка, мм	25
8. Крок скребков, мм	250
9. Потужність встановленого двигуна, кВт	3.0

Економічний ефект від впровадження у виробництво сепаруючого конвейєра - 12207 крб/рік для комбікормового заводу потужністю 600 т на добу.

Висновки

1) Дослідами встановлено, що найбільш значущими факторами, які впливають на процес класифікації сипучих речовин на сепаруючих конвейєрах, є питоме навантаження, швидкість ланцюга, висота скребка та крупність продукту.

2) При вивченні впливу кроку скребка, величини зазору між ситом і скребком та форми ситових отворів було встановлено:

- Для поліпшення роботи необхідна відсутність зазору.
- Треба застосовувати зенковані сита, оскільки це покращує очищення сит.
- Крок скребків приймати - 160 мм.

3) Для очищення сит треба застосовувати гумові накладки на скребки та зенковані сита, це забезпечує коефіцієнт просвіта - $K_{пр} = 0.8$, або скребковий ситоочишувач, він забезпечує коефіцієнт просвіта - $K_{пр} = 0.9$.

4) За виявленими факторам був проведений дробовий факторний експеримент і знайдені залежності, що адекватно описують роботу сепаруючого конвейєра.

5) Для оптимізації ефективності роботи сепаруючого конвейєра була розроблена програма для ПЕОМ, результатом роботи якої, були наступні результати:

Для сит з отворами \varnothing 3 мм

При обмеженнях за швидкістю ланцюга - 0,6 м/с
(максимальне значення)

Ефективність	83 %
Продуктивність	1562 кг/год
Питоме навантаження	3,97 т/(год*м ²)
Швидкість ланцюга	0,6 м/с
Висота скребка	50 мм
Крупність	0,21 доля схода

При обмеженнях за швидкістю ланцюга - 0,8 м/с

(максимальне значення)

Ефективність	92 %
Продуктивність	1732 кг/год
Питоме навантаження	3,97 т/(год*м ²)
Швидкість ланцюга	0,8 м/с
Висота скребка	25 мм
Крупність	0,21 доля схода

Для сит з отворами \varnothing 2 мм

При обмеженнях за швидкістю ланцюга - 0,8 м/с
(максимальне значення)

Ефективність	88 %
Продуктивність	1103 кг/ч
Питоме навантаження	2,71 т/(ч*м ²)
Швидкість ланцюга	0,8 м/с
Висота скребка	50 мм
Крупність	0,23 доля схода

6) Як показали досліді, при застосуванні високих швидкостей (понад 0,7 м/с для сит \varnothing 3 мм) треба застосовувати висоту скребка 25 мм, а при низьких - скребок 50 мм.

7) Одержані результати були перевірені на дослідях з експериментальним зразком сепаруючого конвейера, котрий при ефективності сепарування 82 %, швидкості ланцюга 0,8 м/с і питомому навантаженні 3,2 т/(год*м²) показав продуктивність 17 т/год.

8) Застосування сепаруючого конвейера на ділянці контролю подрібнення зернової сировини уможливило одержання річного економічного ефекту - 5895 крб. (завод потужністю 750 т на добу), на ділянці контролю вапняного борошна - 12207 крб. (завод потужністю 600 т на добу).

Рекомендації для промисловості

1) Рекомендується застосовувати сепаруючі конвейери на комбикормових заводах на таких ділянках:

- Після дробарок, для класифікації подрібненого продукту.
- Перед дробарками, для виділення домішок.
- Перед пресами-грануляторами, для виділення домішок.
- На ділянці приймання сировини.

При виготовленні та застосуванні сепаруючих конвейерів необхідно:

- 2) Застосовувати швидкість ланцюга 0.8 м/с.
- 3) Застосовувати зенковані сита.
- 4) На скребки встановлювати гумові ситоочисні накладки.
- 5) Крок скребків приймати - 160 мм.
- 6) Застосовувати пристрої, що розподіляють продукт по ширині сита.

7) Висота скребка має бути при класифікації зернової крупки:

- 50 мм - для $v=0.6$ м/с і $\phi 3$ мм, для $v=0.8$ м/с і $\phi 2$ мм.
- 25 мм - для $v=0.8$ м/с і $\phi 3$ мм.

По матеріалам дисертації опубліковані такі роботи:

1. Довгалюк А.А., Черныш П.Г., Анистратенко В.А. Малоинерционный сепаратор для сыпучих продуктов //Достижения науки и техники в АПК, - 1992. - № 6.

2. Черныш П.Г., Полищук В.Т., Довгалюк А.А. Отчет о научно-исследовательской работе: "Провести исследования и разработать сепарирующий конвейер для контроля по крупности продуктов измельчения после дробилок". Украинский филиал ВНИИКП ВНПО "Комбикорм", 1990.

3. Довгалюк О.А., Черныш П.Г., Анистратенко В.О. Малоинерционный сепаратор //Харчова та переробна промисловість, - 1994- № 7.

4. Довгалюк О.А., Черныш П.Г. Сепаруючі конвейери на комбикормових підприємствах //Харчова та переробна промисловість, - 1994- № 7.

5. Довгалюк А.А., Черниш П.Г., Анистратенко В.А. Тезисы Республиканской научно-технической конференции 24-26 сентября 1991 года. КТИШ.

6. Довгалюк О.А., Черниш П.Г. Тези республіканської науково-технічної конференції (вересень 1994 р.). ОТІХП.

7. Авторское свидетельство № 1470358 "Сепарирующий конвейер". Черныш П.Г., Любарец П.А., Довгалюк А.А.

Довгалюк А.А. Классификация сыпучих продуктов на сепарирующих конвейерах в комбикормовой промышленности.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.14 "Машины и агрегаты пищевой промышленности": УГУПТ: - К, 1994.

Диссертация написана в виде рукописи.

Защищается 7 научных работ и 1 авторское свидетельство, которые содержат результаты исследований по интенсификации разделения сыпучих продуктов на сепарирующих конвейерах, в зависимости от основных характеристик рабочих органов машины и гранулометрических свойств обрабатываемого продукта. Установлено, что наибольшая эффективность (88%) достигается при использовании сита с отверстиями $\varnothing 3$ мм при следующих параметрах работы: удельной нагрузке $3.97 \text{ т}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$, скорости цепи - 0,8 м/с, высоте скребка 25 мм, крупности по сходовой части - 0,21. Осуществлено промышленное внедрение опытного образца сепарирующего конвейера, представлены данные об экономическом эффекте

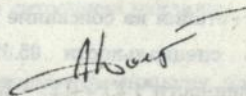
Ключові слова :

Питоме навантаження, ефективність сепарування, продуктивність, крупність, висота скребка, швидкість ланцюга.

Dovgaljuk A.A. "Separation of the pour products at the separating conveyors in the fodder industry". Dissertation of the scientific academic rank on the specialty 05.02.14 "Machines and units of the food

industries". USUTF. Kiev, 1994. Dissertation is write as a manuscript. Seven scientific works and author's certificate contains the results of the scientists' investigation on the separation the corn products according with dependents from the main characteristics of the machine's working organs and grist composition.

Bettters regime for the separation conveyor (efficacy - 88%) was reached for the sieve \varnothing 3 mm with such significance of the factors: load - 3.97 t/(h*m²), branch's speed - 0,8 m/s, scraper's high - 25 mm, grist composition - 0,21. Experimental mödel of the separation conveyor was been inculcated and economic effect was been received.



Підп. до друку 16.12.80 . Формат 60×84¹/₁₆.
Папір друк. № 3 . Спосіб друку офсетний. Умови. друк. арк. 1,63 .
Умови. фарбо-відб. 1,74 . Обл.-вид. арк. 1,0 .
Тираж 100 . Зам. № 4-5546

Фірма «ВІПОЛ»
252151, Київ, вул. Волинська, 60.

AB 31.387