

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ФАЛЬКО ОЛЕКСАНДР ЛЕОНІДОВИЧ

УДК 621.928.3:664.022

НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ФРАКЦІОНУВАННЯ
РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

Спеціальність 05.18.12 – Процеси та обладнання харчових,
мікробіологічних та фармацевтичних
виробництв

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ - 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі обладнання харчових виробництв Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Заплетніков Ігор Миколайович,
Донецький національний університет
економіки і торгівлі імені
Михайла Туган-Барановського,
завідувач кафедри обладнання
харчових виробництв

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Богомолов Олексій Васильович,
Харківський національний технічний
університет сільського господарства
імені Петра Василенка, завідувач
кафедри обладнання та інжинірингу
переробних та харчових виробництв

доктор технічних наук, професор
Соколенко Анатолій Іванович,
Національний університет харчових
технологій, завідувач кафедри
технічної механіки і пакувальної техніки

доктор технічних наук, професор
Вітенько Тетяна Миколаївна
Тернопільський національний
технічний університет імені Івана
Пулюя, завідувач кафедри
обладнання харчових технологій

Захист відбудеться «___»_____201_ р. на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 26.058.02 у Національному університеті харчових технологій за
адресою: 01601, м. Київ-33, вул. Володимирська, 68, **A311, 0 14.⁰⁰**

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного
університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ-33, вул.
Володимирська, 68

Автореферат розісланий «___»_____201_ р.
Вчений секретар
спеціалізованої
вченої ради Д 26.058.02

к.т.н., доц. Л.О. Кривопляс-Володіна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Процеси розмірного фракціонування є невід'ємною частиною виробничих циклів переробки й зберігання рослинної сировини, одержання харчових напівфабрикатів, передпродажної підготовки харчових продуктів. Від якості фракціонування залежить ефективність цілого ряду технологічних циклів на харчових і переробних виробництвах, і навіть зовнішній вигляд продуктів харчування, що значною мірою визначає її попит у покупця. Машини, що використані для здійснення процесів сепарації й калібрування, на підприємствах України не задовольняють повною мірою вимогам сучасного виробництва й ринкової економіки. Це обладнання орієнтоване на великі виробництва, призначене для величезних обсягів сировини, що в умовах ринкової економіки не рентабельно й не доцільно. Воно є морально застарілим, енергоємним і недостатньо технологічно ефективним.

Для поліпшення ситуації пропонується вдосконалення ряду конструкцій сепараторів і калібрувальних машин з метою зниження метало й енергоємності, підвищення технологічної ефективності. Що пропонується за рахунок застосування нових конструкцій і робочих органів (РО), застосуванням додаткових елементів, використанням спеціальних режимів вібраційного переміщення рослинної сировини по робочих поверхнях машини. Високі технічні показники розроблених конструкцій фракціонуючого устаткування, можуть бути досягненні за рахунок наукового обґрунтування, розглянутих процесів, вибору раціональних геометричних і кінематичних параметрів конструкції й режимів роботи, обліку фізико-механічних властивостей сипучої рослинної сировини.

Великий внесок у розвиток обладнання для фракціонування сипучої харчової сировини зробили такі вчені як: І.І. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе, Р.Ф. Нагаєв, Є.Є. Лавендел, А.А. Гаків, Д.А. Плісс, Г.Д. Терсков, В.І. Якубович, С. Бехтер, В.Г. Зейдель, В. Клокхауз, С. Стоєв, О. Тепрік, Р. Юнг, П.М. Заїка, А.В. Прочан, І.Ф. Гончаревіч, І.М. Заплетніков, А.Н. Поперечний, С.Д. Бакєєв, А.І. Бжезовська, Н.І. Верещагін, А.І. Вольников, М.М. Колчін, А.А. Герасімова, Р.М. Махароблідзе, В.С. Заводнов і багато інші. У дослідженнях відомих вчених розроблено багато різних теорій процесів переміщення сировини по РО і конструкціях машин. Такі вчені як І.І. Блехман, І.Ф. Гончаревіч, П.М. Заїка та ін. заклали основи процесів вібраційного переміщення сипких мас. На їхній основі нами створені теорії нових режимів переміщення сировини по новим РО: плоским, східчастим, циліндричним, конічним, завдяки яким вдалося досягти підвищення технологічної ефективності і якості фракціонування, знизити енерговитрати. Були створені експериментальні стенди, для дослідження й перевірки теоретичної частини роботи. У результаті аналізу теоретичної й експериментальної частини роботи, були підтверджені раціональні параметри процесів, встановлені нові закономірності поведінки сировини при вібраційному фракціонуванні.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукова праця виконана згідно із замовленнями Міністерства освіти й науки України, планів наукової діяльності вищих навчальних закладів по держбюджетній

тематиці ДонНУЕТ. До них відносяться: НДР Г-2000-1 «Дослідження й визначення напрямків розробки й створення нових видів технологічного обладнання громадського харчування й харчової промисловості» за період 01.2000-12.2002 рр. (№ 0100U000285); НДР Д-2002-4 «Інтенсифікація робочих процесів та поліпшення експлуатаційних характеристик обладнання харчових виробництв» за період 01.2002-12.2006 рр. (№ 0106U012557); НДР Д-2003-1 «Розробка та наукове обґрунтування створення нових видів технологічного обладнання для обробки сипкої харчової сировини» за період 01.2003-12.2005 рр. (№ 0205U007153); НДР Д-2006-3 «Поліпшення віброакустичних характеристик технологічного обладнання харчових виробництв» за період 01.2006-12.2008 рр. (№ 0105U007784); НДР Д-2009-3 «Науково-технічні засоби удосконалення конструкцій обладнання харчових виробництв» за період 01.2009-12.2010 рр. (№ 0108U011130); госпдоговірних тем № 376/2008., «Розробка проекту вібраційного конвейера для транспортування сипких та інших матеріалів»; № 644/2011 «Вдосконалення овочерізальних машин з метою поліпшення експлуатаційних характеристик» за період 24.03.2011-15.12.2012 рр. (№ 011U005110).

Наукові дослідження виконані згідно із внутрішніми планами науково-дослідних робіт ДонНУЕТ імені Михайла Туган-Барановського, а також на основі господарських договорів з підприємствами харчової промисловості.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка й наукове обґрунтування перспективних конструкцій обладнання для фракціонування рослинної сировини, обґрунтування його ефективних технологічних параметрів, впровадження розробок у виробництво.

Для досягнення поставленої мети визначені головні завдання дослідження:

- класифікувати основні види сипкої харчової сировини відповідно до прийнятих методів фракціонування, а також по фізико-механічних властивостях;
- визначити необхідні фізико-механічні властивості сипкої харчової сировини для розробки нових режимів вібропереміщення по різних фракціонуючим поверхням;
- науково обґрунтувати нові методи боротьби із заклинюванням одиниць сировини в робочих органах вібраційних калібрувальних машин, засновані на нових режимах вібропереміщення, виконати експериментальне підтвердження цих методів;
- установити закономірності й механіку вібропереміщення сипкої сировини по горизонтальній східчастій ситовій поверхні при осьовій вібрації робочого органа для обґрунтування можливості протилежно спрямованого вібропереміщення сировини;
- розробити універсальний експериментальний вібраційний стенд для проведення дослідження процесу протилежно спрямованого вібропереміщення на східчастій ситовій поверхні й перевірити основні кінематичні й геометричні параметри процесу експериментальним шляхом;
- теоретично обґрунтувати й підтвердити експериментально збільшення корисної площі сита барабанного класифікатора при впливі вертикальних вібрацій на робочий орган, дослідити механіку процесу переміщення сипкої сировини в обертовому барабані під впливом вібрації;

- створити експериментальну модель барабанного віброкласифікатора й визначити основні раціональні кінематичні параметри процесу й геометрію ситового барабана;

- установити значення припустимої швидкості співударяння й механічного навантаження на одиницю сипкої сировини при впливі відцентрової сили від поверхні, що обгороджує, розробити й науково обґрунтувати нову конструкцію відцентрової дискової машини;

- визначити параметри вібровідцентрового переміщення сипкої сировини й встановити діапазон відповідності теоретичних і експериментальних значень;

- науково обґрунтувати можливість здійснення вібровідцентрової сепарації на конічному ситі з малим кутом нахилу до горизонту, провести дослідження процесу й одержати теоретичні залежності для визначення його параметрів.

Об'єктом досліджень є процеси переміщення харчової сипкої сировини по РО фракціонуючих машин.

Предметом досліджень є сепарація й калібрування рослинної сировини, конструкції вібраційних і відцентрових фракціонуючих машин.

Методи досліджень – аналітичні й статистичні методи із застосуванням математичного моделювання процесів фракціонування на базі законів механіки, а також сучасні наукові методи з використанням електронних вимірювальних пристроїв і промислових приладів, цифровий швидкісний відеозапис, комп'ютерна обробка за допомогою пакетів: Msoffice 2007, 2009; Mathcad 14; ANSYS ICEM CFD (версія 5); COMSOL Мультифізика 3.4., і т.д.

Наукова новизна отриманих результатів.

- запропонована класифікація сипкої харчової сировини, розділеної на класи, на основі її фізико-механічних і міцносних властивостей, а також методів фракціонування;

- визначені коефіцієнти зовнішнього тертя на перфорованих поверхнях для гороху, гречки, вівса, пшениці, рису, жита, квасолі;

- запропонована методика визначення припустимого навантаження на одиницю сировини при жорсткому заклинюванні її в решеті калібрувальної машини;

- науково обґрунтована доцільність застосування прутів різної форми в калібрувальних решетах;

- удосконалені методики розрахунку трапецеїдального, круглого й сегментного решіт з г - образних й п - образних прутів;

- науково обґрунтоване застосування обмежувальної поверхні, встановленої над горизонтальним віброрешетом, як новий метод боротьби з заклинюванням;

- розроблений новий режим вібропереміщення сипкої сировини, використовуючи циклічний контакт із обмежувальною поверхнею;

- одержала подальший розвиток теорія процесу вібросепарації сипкої сировини на горизонтальному східчастому ситі при горизонтальних коливаннях робочого органа, визначені геометричні параметри робочого органа;

- уперше аналітично доведена можливість протилежно спрямованого вібропереміщення непрохідної фракції сипкої сировини;

- у результаті дослідження процесу переміщення сировини по східчастій ситовій поверхні підтверджений процес одержання фракцій сипкої сировини за рахунок протилежно спрямованого вібропереміщення;

- уперше встановлене, що вплив вертикальний спрямованих коливань змінює значення кута підйому сегментного шару сипкої сировини в обертовому, горизонтально встановленому барабані й збільшує корисну площу ситової поверхні барабана;

- уперше встановлені характеристики руху шару сипкої сировини усередині обертового барабана під впливом вертикальної вібрації, обґрунтована можливість заміни вертикальних коливань кутовими;

- одержав подальший розвиток напрямок конструювання багатоцільових барабанних сепараторів, де процес розподілу сировини на фракції відбувається «від великого до дрібного», удосконалена методика визначення геометричних параметрів барабанних сит, створений експериментальний зразок сепаратора;

- експериментально визначені параметри процесу руху сипкої маси в обертовому барабані при впливі механічних коливань;

- установлені припустимі безпечні швидкості співударяння плодів деяких культур між собою й з робочими органами машин;

- одержали подальший розвиток аналітичні й експериментальні дослідження вібровідцентрової сепарації на конічному ситі з малим кутом конусності, визначені головні параметри процесу;

Практичне значення отриманих результатів. Розроблені методики розрахунку технологічних параметрів для ряду сепараторів і калібрувальних машин. Створені експериментальні зразки машин для розмірного фракціонування сипких харчових мас, які служили експериментальною базою для даної роботи або були впроваджені на харчових і переробних підприємствах Донецької області.

Вібраційний очисник насіння соняшника впроваджений на АТЗТ «Торезська харчосмакова фабрика» (м. Торез, Дон. обл., вересень 2005 р.), річний економічний ефект 124,1 тис. грн. Просіювач крохмалю впроваджений на АТЗТ «Торезська харчосмакова фабрика» (м. Торез, Дон. обл., вересень 2005 р.), річний економічний ефект 246,38 тис. грн. Ситовий сепаратор барабанного типу впроваджений на ВАТ «Червоноармійський хлібо завод» (м. Красноармійськ, Дон. обл., вересень 2006 р.) річний економічний ефект 102,43 тис. грн. Відцентровий калібрувач впроваджений на ПТК «ШАХТАР» (м. Донецьк, січень 2007 р.) річний економічний ефект 32,42 тис. грн. Вібровідцентровий сепаратор впроваджений на ПТК «ШАХТАР» (м. Донецьк, січень 2007 р.) річний економічний ефект 78,56 тис. грн. Відцентрова дискова калібрувальна машина впроваджена на КФГ «Олександровське» (Дон. обл., липень 2008 р.) річний економічний ефект 68,26 тис. грн. Вібраційний конвеєр-сепаратор впроваджений на ДПЗ «Дніпро» (м. Дніпропетровськ, січень 2009 р.) річний економічний ефект 234,94 тис. грн. Вібровідцентровий (з конусним ситом) сепаратор впроваджений на ТОВ ПК «Млин» (м. Донецьк, травень 2009 р.) річний економічний ефект 176,55 тис. грн. Розробка конструкторської документації на дискову відцентрову калібрувальну машину впроваджена на

ТОВ «РАДУГА ГРУПП» (м. Донецьк, липень 2009 р.), річний економічний ефект 6,55 тис. грн.

Особистий внесок здобувача. Основний внесок полягає у виборі й обґрунтуванні теми, аналізу інформаційних джерел, створенні методик, проведенні аналітичних і експериментальних досліджень, аналізу й узагальненню їх результатів, у розробці нових перспективних конструкцій машин, проведенні заходів щодо впровадження розробок у виробництво, формулювання висновків, і підготовці до публікації результатів досліджень. Заявлені в дисертації наукові положення, теоретичні розробки і їх практична реалізація виконані особисто автором.

Частина запатентованих в Україні винаходів, створені разом з наведеними в публікаціях науковими співробітниками, при особистій участі автора.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися й обговорювалися на щорічних наукових і міжнародних науково-практичних конференціях. Щорічні міжвузівські наукові конференції ДонНУЕТ (м. Донецьк, 2000 р., 2002 р., 2004 р., 2006 р., 2008 р., 2010 р., 2012 р., 2014 р.,) Міжнародні науково-практичні конференції «Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація й економіка», ДонНУЕТ (м. Святогірськ, 2001 р., 2003 р., 2005 р., 2007 р., 2009 р., 2011 р.). Наукова конференція молодих вчених студентів і аспірантів УДУХТ (м. Київ, 2001 р.). IV Міжнародна науково-технічна конференція «Хлібопродукти -2002», ОДАХТ (м. Одеса, 2002 р.). Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми та перспективи створення й впровадження нових ресурсо- та енергоощадних технологій, обладнання в галузях харчової й переробної промисловості» УДУХТ (м. Київ, 2003 р.). Наукова конференція молодих вчених та аспірантів НУХТ (м. Київ, 2004 р.). Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв», ХНТУСГ ім. Петра Василенка. (м. Харків, 2006 р.). Міжнародна науково-технічна конференція «Стратегічні напрямки розвитку підприємств харчових виробництв, ресторанного господарства й торгівлі», ХДУХТ (м. Харків, 2008 р.). МНТК «Актуальні проблеми й новітні технології харчової та переробної галузі», ЛНАУ (м. Луганськ, 2008 р.). VI МПК «Морські технології: проблеми й рішення – 2009», КДМТУ (м. Керч, 2009 р.). XII Міжнародна наукова конференція «Вдосконалення процесів і обладнання харчових і хімічних виробництв», ОНАХТ (м. Одеса, 2009 р.). XIII Міжнародна наукова конференція «Вдосконалення процесів і обладнання харчових і хімічних виробництв», ОНАХТ (м. Одеса, 2010 р.). Міжнародна наукова конференція «Новітні технології, обладнання, безпека та якість харчових продуктів: сьогодення та перспективи» присвячена 80-річчю НУХТ (м. Київ, 2010 р.). Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв», ХНТУСГ ім. Петра Василенка. (11.11.11. г. Харків, 2011 р.). X Науково-практична конференція «Морські технології: проблеми й рішення – 2012», КДМТУ (м. Керч, 2012 р.).

Публікації. Матеріали дисертації, отримані результати опубліковані в 55 роботах, у тому числі у 2-х монографіях, 36-и статтях опублікованих у спеціалізованих наукових виданнях, затверджених ДАК України. Створені автором і при його участі нові способи, технічні засоби для фракціонування сипких харчових продуктів захищено 17 патентами України.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 302-х найменувань, у тому числі 27 іноземних, і додатків. Повний обсяг дисертації викладений на 361-ой сторінці, включає 173 рисунка і 76 таблиць, 3 додатка на 151 сторінці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі описані науково-технічні проблеми, розв'язанню яких присвячена дисертація, обґрунтована актуальність теми, відображено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначені мета і завдання досліджень, показано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, представлені особистий внесок здобувача, відомості про структуру дисертаційної роботи, апробацію її результатів та публікації.

У першому розділі роботи проведений аналіз сучасного стану застосовуваних процесів фракціонування сипких харчових середовищ. Викладені фізичні принципи, методи й способи, використовувані для здійснення фракційного розподілу продуктів рослинної сировини. Виконаний огляд відомих фізико-механічних сипких харчових матеріалів. Зроблений аналітичний огляд конструкцій сепараторів і калібрувальних машин застосовуваних у переробній промисловості України. Зроблені висновки про необхідність рішення виявлених в обладнанні технічних проблем.

На основі аналізу літературних джерел встановлено: відсутність існування чіткого переліку сипких продуктів, що підлягають фракціонуванню; відсутність точного поділу сипких продуктів на групи по способу або методу розподілу на фракції. Виявлена необхідність додаткового дослідження фізико-механічних властивостей сипких харчових мас при їхній взаємодії з решетами вібраційних сепаруючих машин, встановлена відсутність значень механічної міцності плодів при заклинюванні в решеті. Обґрунтована необхідність та напрямок модернізації конструкцій решітних сепараторів і калібрувальних вібромашин з метою підвищення їх продуктивності, «дбайливого» відношення до продукту, боротьби із застряганням плодів у решеті. Встановлена доцільність удосконалювання конструкцій ситових сепараторів із плоскими ситами з метою зменшення габаритів, спрощення конструкції, додання компактності. Також обґрунтована доцільність модернізації барабанних машин для розмірного фракціонування з горизонтальним розташуванням барабана з метою інтенсифікації процесу фракціонування сипучого продукту. Встановлена нерозв'язаність питання про припустиму швидкість співударяння одиниці продукту з РО під впливом відцентрової сили. Обґрунтована необхідність модернізації дискових калібрувальних пристроїв і машин з метою спрощення конструкції, зменшення габаритів, підвищення продуктивності. Виявлена недосконалість механізму конусних сит у вібровідцентрових

сепараторах при експлуатації, а також нерозв'язаність питання спрямованості коливань РО в цих конструкціях.

Аналіз енергоємності сучасних зерноочисних і калібрувальних машин показав, що середня питома витрата електроенергії зернових сепараторів, становить 0,33 кВт·ч/т, а для калібрувальних машин - 0,67 кВт·ч/т. Найбільший питоми розхід електроенергії серед зернових сепараторів мають повітряно-ситові - 0,44 кВт·ч/т, серед калібрувальних машин – шнекові - 0,96 кВт·ч/т.

У другому розділі викладені методичні підходи й організація виконання дисертаційної роботи, обґрунтований напрямок досліджень дисертації, загальна методика наукових досліджень. Методика дисертаційного дослідження ділиться на аналітичний і експериментальний етапи, складені блок-схеми обох етапів. Застосований наступний алгоритм по всіх обраних наукових напрямках: усвідомлення фізичної реальності процесу, що відбувається із сипким продуктом, => складання схеми сил діючих на продукт => складання рівняння сил на осі обраної координатної системи => одержання рівняння руху продукту по поверхні РО методом математичних перетворень => прийняття етапів переміщення продукту, ґрунтуючись на відеозаписі процесу => вивод рівнянь для визначення фазових кутів, переміщення, швидкості, прискорення продукту на РО, і інших численних параметрів.

Складений точний перелік рослинної сировини, яка потребує фракційного розподілу. Згідно з фізико-механічними властивостями і методами фракціонування, обґрунтований розподіл вхідної в перелік сировини на 4 розмірних класи наведених у таблиці 1.

Таблиця 1. Розподіл сипких харчових мас на розмірні класи.

1-й розмірний клас: 1. Продукти розмелу зерна пшениці (група), 2. Харчовий крохмаль, 3. Харчові кислоти (група), 4. Харчові порошки барвники (група), 5. Харчові порошки смакові добавки (група), 6. Харчові порошки ароматизатори (група), 7. Цукрова пудра.
2-й розмірний клас: 1. Пшениця, 2. Жито, 3. Ячмінь, 4. Рис, 5. Овес, 6. Гречка, 7. Просо, 8. Соняшник.
3-й розмірний клас: 1. Горох, 2. Квасоля, 3. Боби, 4. Кукурудза, 5. Горіхи.
4-й розмірний клас: 1. Яблука, 2. Груші, 3. Айва, 4. Персик, 5. Хурма, 6. Гранат, 7. Мандарин, 8. Апельсин, 9. Лимон, 10. Грейпфрут, 11. Кабачок, 12. Томати, 13. Огірки, 14. Картопля, 15. Морква, 16. Буряк, 17. Редька, 18. Редис, 19. Цибуля ріпчаста.

Наведена методика визначення коефіцієнтів зовнішнього тертя, отримані результати для зернових культур: гороху, гречки, овса, пшениці, риса, жита, квасолі, на різних ситових поверхнях сталевих решіт з круглими і прямокутними гніздами, на поверхні дротяних сіток.

За розробленою методикою визначене мінімальне навантаження, що ушкоджує плоди при защемленні їх у калібрувальному решеті. Визначення навантаження, при якому відбувається механічне ушкодження плода в місцях контакту зі сталевими прутами, проводилося у ручному режимі за допомогою приладу для випробування металів на твердість ТШ-2 і спеціального пристрою. Згідно з методикою мінімальне навантаження визначиться з рівняння:

$$P = \frac{HB\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2} - P_{\text{п}}, \quad (1)$$

де D – діаметр кульки, що вдавлюється в поверхню, мм; P_1 – навантаження на кульку, «кгс» (Н); d – діаметр відбитка кульки на випробуваній поверхні, мм; HB – твердість поверхні металу по Бринелю; $P_{\text{п}}$ – сила, що затрачується на переміщення поршня в пристрої, Н.

Для розрахунків параметрів процесу фракціонування визначені коефіцієнти тертя й мінімального ушкоджувального навантаження.

У третьому розділі розглядалося фракціонування на вібраційних калібрувальних машинах з решетами зі сталевих прутів. Оптимальною формою решета, була обрана трапецеїдальна. Обґрунтовано застосування обмежуючої поверхні (ОП), як протизаклинюючого пристрою, що встановлена, паралельно над коливним решетом. ОП не дозволяє плодам, що відірвалися від решета досягати найвищої траєкторії польоту. У результаті зіткнення з гумовим покриттям поверхні швидкість плода гаситься й він падає на решето зі швидкістю близької до швидкості вільного падіння, таким чином, швидкість відриву плода від решета буде завжди значно більше, ніж швидкість падіння. А це означає, що не зможе відбутися настільки жорстке заклинювання плода між прутами, щоб у наступному періоді коливань сила інерції не змогла вирвати плід з решета, чим і досягається вивільнення плода й продовження безперервного процесу вібраційного переміщення та фракціонування. Аналітичне дослідження цього процесу базуються на вивченні швидкісної

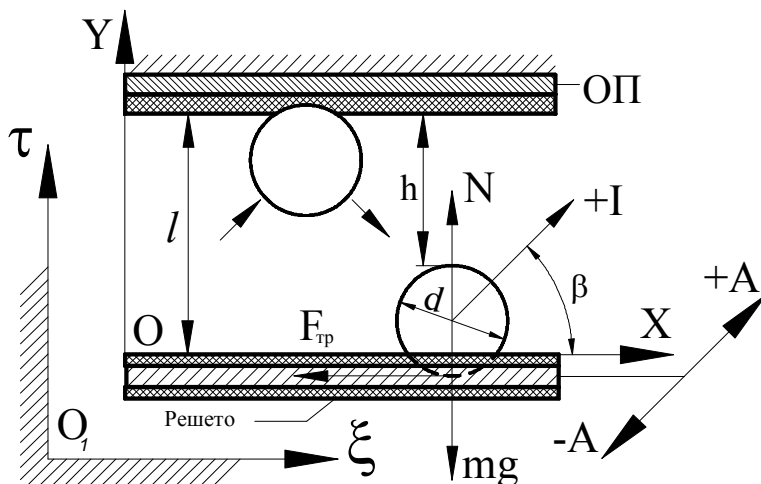


Рис. 1. Схема сил, що діють на шар плодів.

відео-зйомки й складеній схемі сил представленої на рис 1. Зв'яжемо рухливу систему координат XOY з коливним калібрувальним решетом, направивши вісь X іздовж горизонтальної поверхні решета по напрямленню вібропереміщення шару продукту, а вісь Y вертикально нагору. Рух рухливої системи координат XOY

разом з решетом будемо розглядати в нерухливій системі координат $\xi O_1 \tau$.

Згідно рис. 1, на продукт діє гравітаційна сила $G=mg$, сила інерції $I = mA\omega^2 \sin(\omega t)$, сила тертя $F_{\text{тр}} = \mu N$, сила нормальної реакції з боку калібрувального решета N , де m – маса шару сипучих продуктів кг, A і ω – амплітуда й частота коливань решета відповідно, β – кут спрямованості коливань, μ – коефіцієнт тертя.

Рівняння сил, що діють на шар сипких плодів у системі координат XOY, коли він перебуває на поверхні калібрувального решета.

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= I \cos \beta - F_{\text{тр}} = mA\omega^2 \sin(\omega t) \cos \beta - \mu N \\ m\ddot{y} &= I \sin \beta + N - G = mA\omega^2 \sin(\omega t) \sin \beta + N - mg. \end{aligned} \quad (2)$$

Із системи (2) одержимо диференціальні рівняння руху продукту:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= A\omega^2 \sin(\omega t) \cos \beta - \frac{\mu N}{m} \\ \ddot{y} &= A\omega^2 \sin(\omega t) \sin \beta - g + \frac{N}{m}. \end{aligned} \quad (3)$$

На етапі ковзання, коли $\ddot{y} = 0$, $\dot{y} = 0$, $y = 0$, друге рівняння системи (3) дорівнює до нуля й з нього одержимо значення N/m :

$$\frac{N}{m} = g - A\omega^2 \sin(\omega t) \sin \beta. \quad (4)$$

Підставивши значення N/m з (4) у перше рівняння системи (3) одержимо диференціальне рівняння руху уздовж осі X:

$$\ddot{x} = A\omega^2 \sin(\omega t) \cos \beta - \mu(g - A\omega^2 \sin(\omega t) \sin \beta). \quad (5)$$

Інтегруючи (5) по dt , одержимо рівняння зміни швидкості уздовж осі X на етапі ковзання:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= -A\omega \cos \beta (\cos(\omega t) - \cos(\omega t_0)) - \mu g(t - t_0) - \\ &- \mu A\omega \sin \beta (\cos(\omega t) - \cos(\omega t_0)) + \dot{x}_0, \end{aligned} \quad (6)$$

де t_0 – момент початку ковзання (кочення) плода уздовж осі X по калібрувальному решету, $t_{\text{отр}}$ – момент початку відриву, $\dot{x}_0$ – початкова швидкість уздовж осі X на момент t_0 . $\dot{x}_0 = 0$, тому що в кожному циклі вібропереміщення, через високе значення μ , продукт зупиняється при ковзанні до моменту t_0 .

Після аналітичних перетворень ми одержали:

1) Рівняння для переміщення на етапі ковзання:

$$\begin{aligned} \xi_{0-\text{отр}} &= -A \cos \beta (\sin(\omega t_{\text{отр}}) - \sin(\omega t_0)) + A\omega \cos \beta \cos(\omega t_0)(t_{\text{отр}} - t_0) - \\ &- \frac{1}{2} \mu g(t_{\text{отр}} - t_0)^2 - A \sin \beta (\sin(\omega t_{\text{отр}}) - \sin(\omega t_0)) + A\omega \sin \beta \cos(\omega t_0)(t_{\text{отр}} - t_0) + \\ &+ A \sin(\omega t_{\text{отр}}) \cos \beta. \end{aligned} \quad (7)$$

2) Рівняння для переміщення $\xi_{\text{отр-с}}$ на етапі польоту нагору від решета до обмежуючої поверхні:

$$\xi_{\text{отр-с}} = A\omega \cos(\omega t_{\text{отр}}) \cos \beta (t_c - t_{\text{отр}}). \quad (8)$$

Де t_c – момент зіткнення з обмежуючою поверхнею.

3) Рівняння для переміщення ξ_{c-p} на етапі польоту від обмежуючої поверхні до решета:

$$\xi_{c-p} = \frac{1}{3} A \omega \cos(\omega t_{отр.}) \cos \beta (t_p - t_c). \quad (9)$$

Де t_p – момент падіння на решето.

4) Середню швидкість вібропереміщення плодів, з урахуванням переміщення на всіх етапах руху:

$$\dot{\xi}_{общ} = \frac{\omega}{2\pi \left(\left[\frac{\omega t_p}{2\pi} \right] + 1 \right)} \{ \xi_{о-отр} + \xi_{отр-с} + \xi_{с-п} \}. \quad (10)$$

Щоб перевірити теоретично отримані значення із практичними був створений експериментальний стенд, що включає в себе калібрувальну віброташину з обмежуючою поверхнею й ряд вимірювальних приладів (рис. 2).



Рис. 2. Експериментальний вібраційний стенд: 1 – завантажувальний бункер; 2 – робочий орган; 3 – привод; 4 – шток вібратора; 5 – пластинчасті ресори; 6 – обмежуюча поверхня; 7 – шар гуми знизу на ОП; 8 – кріплення ОП; 9 – п'єзоелектричний датчик ДН-4; 10 – електронний тахометр; 11 – прилад для виміру віброприскорення РО (у складі стенда ВЭДС – 10А).

На рис. 3 представлено порівняння теоретичної і експериментальної швидкості шару плодів залежно від l – відстані між решетом і ОП. Застосування

ОП при безперервному калібруванні протягом 6 годин, підтвердило її ефективність рис. 4.

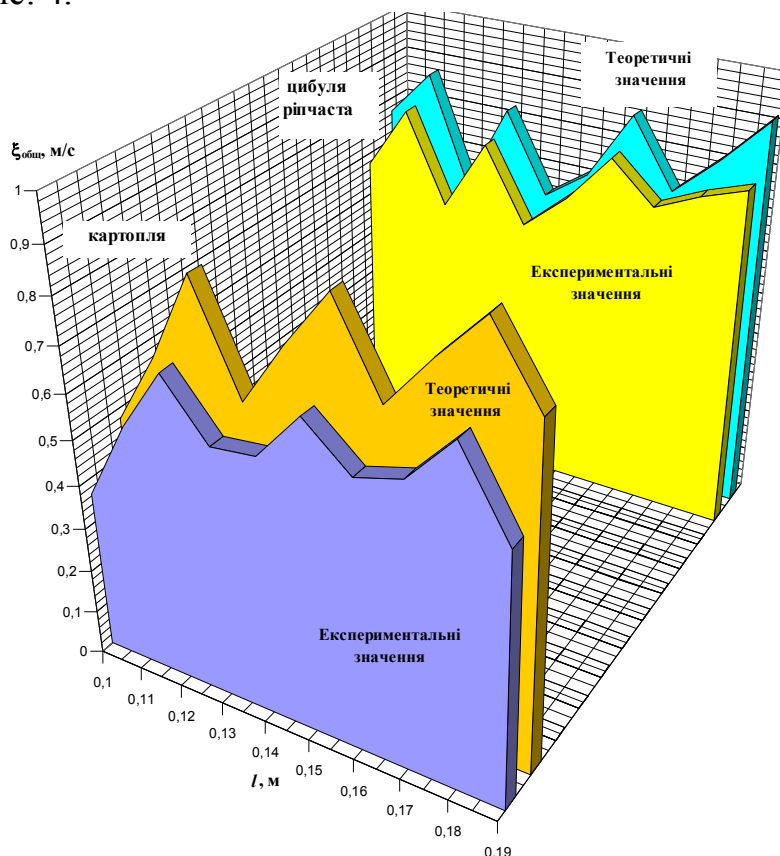


Рис. 3. Середня швидкість вібропереміщення плодів картоплі й цибулі ріпчастої залежно від l .

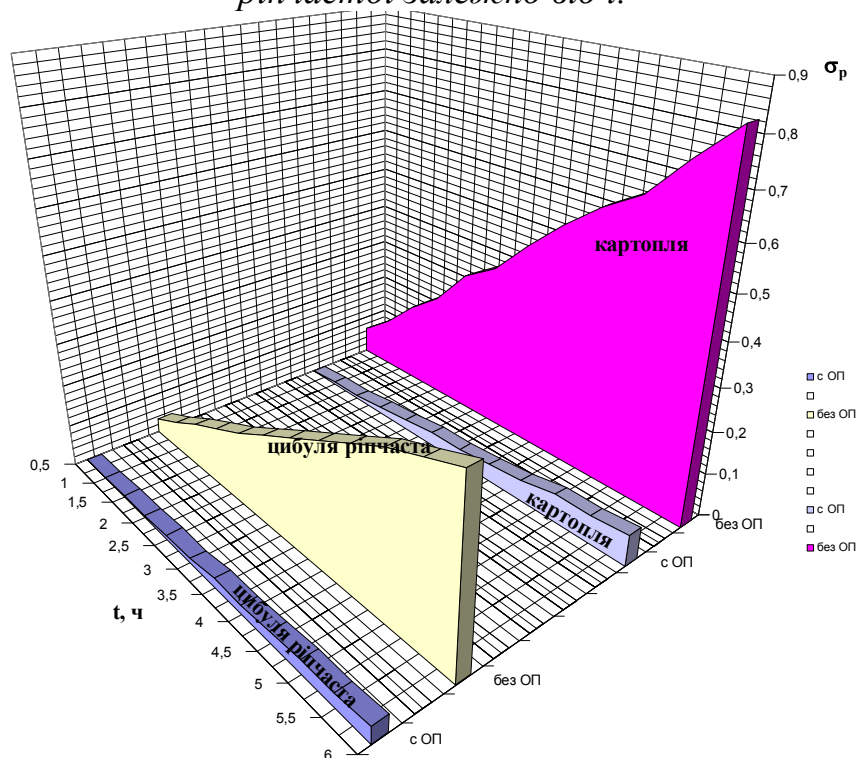


Рис. 4. Вплив ОП на заклинювання плодів в решеті вібраційної машини.

Четвертий розділ присвячений фракціонуванню сипкої сировини із застосуванням вібросита зі східчастим РО використовуючи горизонтально

спрямовані коливання. Обґрунтована доцільність застосування горизонтальних коливань, що пояснюється меншою споживаною потужністю при роботі вібратора в 1,5...2,5 рази.

Аналітичні дослідження базуються на аналізі швидкісної відеозйомки процесу. і Система координат XOY пов'язана з PO (рис. 5). Розглянемо рух частки продукту масою m в момент початку ковзання нагору по ситовій поверхні сходинок. На частку масою m діє сила ваги mg , (g - прискорення вільного падання), нормальна реакція N , сила інерції I , сила тертя $F_{тр}$.

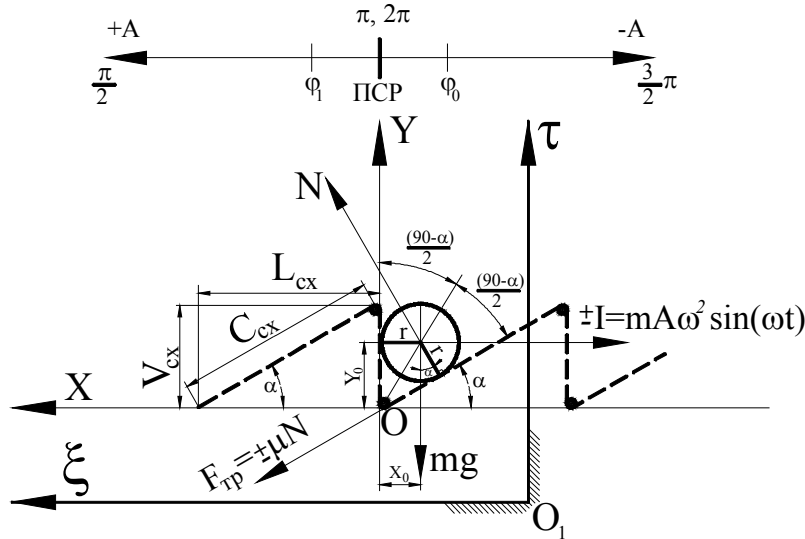


Рис. 5. Схема сил діючих на частку сипкого продукту.

У зв'язку з малою відстанню польоту й достатньо великою щільністю сипкого продукту, ухвалюємо допущення про те, що опір повітря не виявляє помітного впливу на процес вібропереміщення частки. Рух деки вліво від ПСР вважаємо початком періоду коливань, вимірюючи фазові кути й час від ПСР. Уліво від ПСР продукт рухається разом з декою, а при русі вправо, після проходження ПСР, коли у $PO \ddot{x} > 0$, а $\dot{x} < 0$, сила інерції змушує продукт до зворотного переміщення відносно осі X ковзанням по похилій поверхні сходинок.

Рівняння сил діючих на частку по осях X и Y на етапі ковзання:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mA\omega^2 \sin \omega t + F_{мп} \cos \alpha + N \sin \alpha, \\ m\ddot{y} = -mg + N \cos \alpha - F_{мп} \sin \alpha, \end{cases} \quad (\text{при } \sin \omega t < 0) \quad (11)$$

де t – поточний час, A – амплітуда, ω – циклічна частота коливань. Сила тертя $F_{мп} = \pm \mu N$, (μ – коефіцієнт зовнішнього тертя) з урахуванням цього виразимо N з 2-го рівняння системи (11):

$$N = \frac{m\ddot{y} + mg}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}. \quad (12)$$

Підставивши значення N з (12) в 1-е рівняння системи (11) і після розділу обох його частин на m , одержимо:

$$\ddot{x} = A\omega^2 \sin \omega t + (\ddot{y} + g) \frac{\mu \cos \alpha + \sin \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}. \quad (13)$$

У результаті тривалих аналітичних досліджень були отримані вираження для: φ_0 – фазового кута початку ковзання, φ_1 – фазового кута відриву, φ_2 – фазового кута падіння й середньої швидкості вібропереміщення частки продукту:

$$\varphi_0 = \pi + \arcsin \left[\frac{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{A\omega^2(\cos \alpha - \mu \sin \alpha)} \right]. \quad (14)$$

$$\varphi_1 = \arcsin \left[\frac{g}{A\omega^2 \operatorname{tg} \alpha} \right] + 2\pi. \quad (15)$$

$$\varphi_2 = \omega \left(\frac{A\omega k_1(\cos \omega t - \cos \omega t_0) \operatorname{tg} \alpha - k_2(t_1 - t_0) \operatorname{tg} \alpha}{g} + t_1 + \sqrt{\frac{2(\tau_{\max} - y_0)}{g}} \right). \quad (16)$$

$$\text{Де } k_1 = \frac{1}{1 + \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} \right)}; \quad k_2 = \frac{gk_1(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}. \quad (17)$$

$$\ddot{\xi} = \frac{\omega}{2\pi \cdot \operatorname{floor} \left(\frac{\varphi_2}{2\pi} \right)} \left[\begin{aligned} & - \frac{A(\sin \omega t_1 - \sin \omega t_0)}{1 + \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} \right)} + \frac{A\omega \cos \omega t_0(t_1 - t_0)}{1 + \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} \right)} + \\ & + \frac{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)(t_1 - t_0)^2}{\left(1 + \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} \right) \right) 2(\cos \alpha - \mu \sin \alpha)} - r + A \sin(\omega t_1) + \\ & + \left[\begin{aligned} & - \frac{A\omega(\cos \omega t - \cos \omega t_0)}{1 + \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} \right)} + \\ & + \frac{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)(t_1 - t_0)}{1 + \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} \right) (\cos \alpha - \mu \sin \alpha)} + \\ & + A\omega \cos(\omega t_1) \end{aligned} \right] \times (t_2 - t_1) \end{aligned} \right]. \quad (18)$$

За отриманими значенням швидкості побудована залежність (рис 6.).

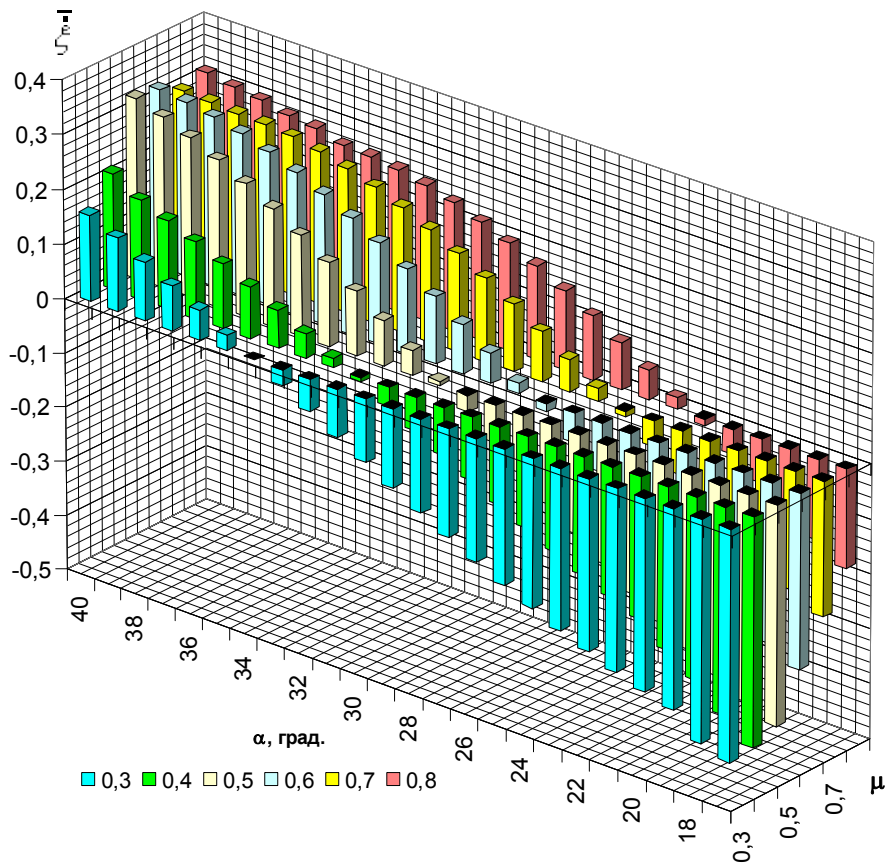


Рис. 6. Середня швидкість вібропереміщення $\xi^{\cdot}$ залежно від кута нахилу сходинок $\alpha=17\ldots40$ град. і коефіцієнта тертя μ , при ($A=0,007$ м, $\nu=20$ Гц).

Аналіз рис. 6 показує, що зміна значення кута нахилу α і μ приводить до зміни не тільки швидкості сипкого продукту, але й до зміни вектора руху на протилежний. Це відбувається, при значеннях $\alpha=\ldots18\ldots21$ град. тому, що сила тертя $F_{\text{тр}} = \mu N$ залежить від N (рис. 5), величина якого пропорційна куту α і зменшується разом ним, тому продукт прослизав по похилій ситовій поверхні на попередню сходинку вправо (рис. 5), а при русі РО вліво продукт утримується на РО вертикальною поверхнею сходинок. При $\alpha=35\ldots40\ldots$ град. продукт із будь-яким μ не буде мати зворотного руху, тому що сила тертя значно більше за рахунок більшого значення N . Тому продукт на етапі ковзання по похилій поверхні при русі РО вліво (рис. 5.) рухається повільніше, що не дозволяє йому встигнути «зісковзнути» на сходинку праворуч. А наприкінці етапу ковзання перебуваючи у вершини сходинок, продукт відривається від її похилої поверхні й перелітає на наступну сходинку уліво.

Особливу цікавість представляє діапазон значень кута $\alpha=22\ldots34$ градуса. Швидкості вібропереміщення тут стримані, але докладний розгляд діапазону аналітично дозволяє можливість різноспрямованого вібропереміщення сипкого продукту при постійному значенні α , за рахунок різних значень μ . Це дозволить використовувати μ як ознаку сепарації.

Для практичної перевірки був створений експериментальний стенд, що включає в себе вібраційний сепаратор з універсальним РО і вимірювальними

приладами. РО може фіксовано змінювати геометрію сходинки, що дозволяє експериментувати з різними кутами α (Рис. 7).

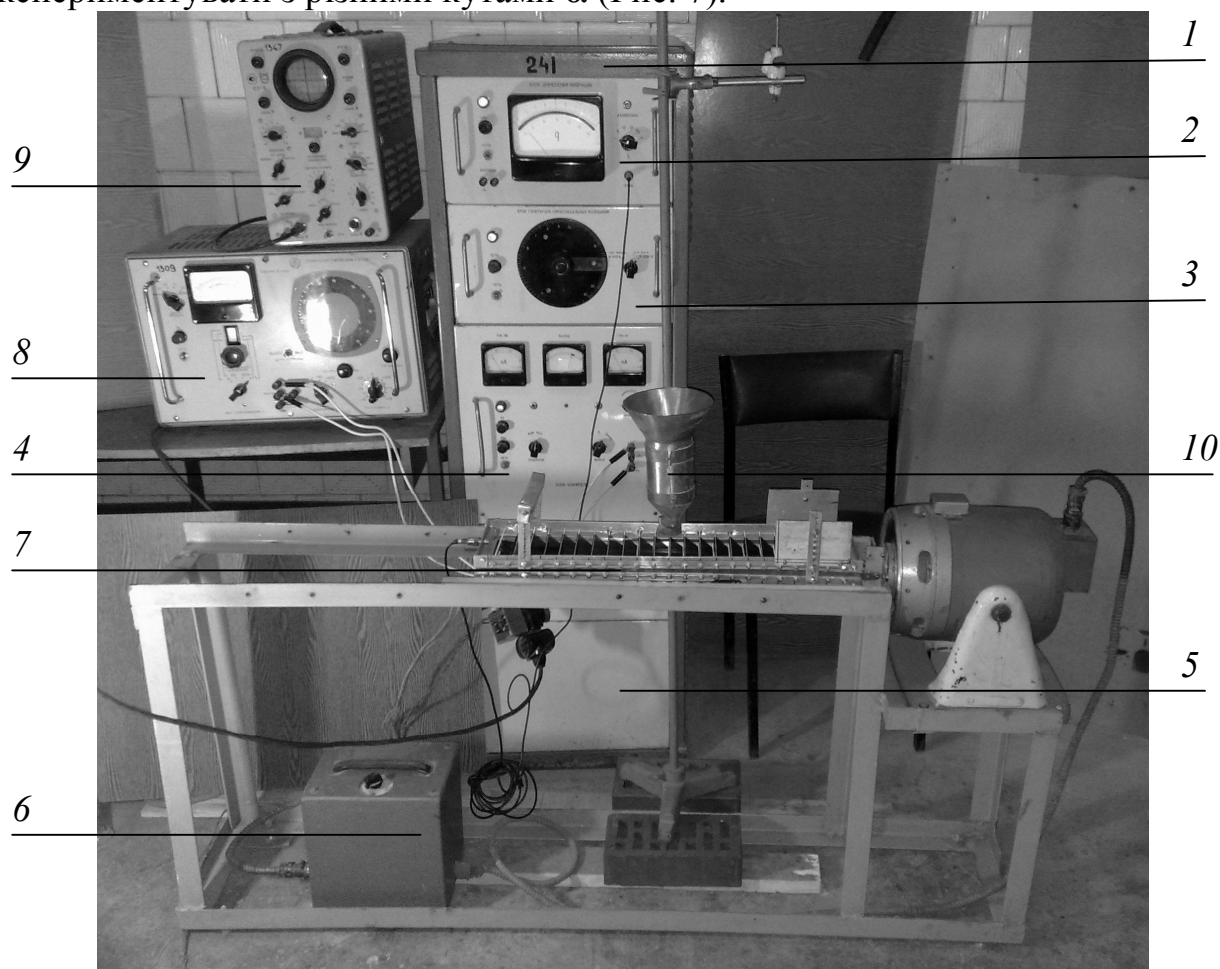


Рис. 7. Експериментальний вібраційний стенд (РО на 20 сходинок): 1–ВЭДС-10А; 2–блок виміру вібрації; 3–генератор частоти коливань; 4–підсилювач коливань; 5–блок підмагнічування; 6–блок фільтрів; 7– вібраційний сепаратор з універсальним РО; 8–контрольний генератор; 9–осцилограф; 10–бункер.

У табл. 2 наведені фрикційні характеристики застосовуваних сипких матеріалів, для доказу практичної можливості фрикційного розподілу. Один з обраних матеріалів не харчовий, але має зручні характеристики (для перевірки).

Таблиця 2. Коефіцієнти й кути зовнішнього тертя сипких матеріалів

Досліджуваний сипкий матеріал	Капронова тканина для сит ГОСТ 17-46-91; 1,5×1,5(±9%)	
	μ	ρ , градус.
1. Горох (сушений)	0,32	18
2. Пшениця	0,65	33
3. Рис	0,61	31,5
4. Полістирол (гранул)	0,3	17

Результати фрикційного розподілу представлені на фото рис. 8-12.



полістирол →

а



← зерна пшениці

б

Рис. 8. Роздільне вібропереміщення зерен пшениці (а) і полістиролу (б) при $\alpha = 28$ град., $\nu = 20$ Гц, $A = 0,007$ м.



← зерна пшениці зерна гороху →



← зерна рису зерна гороху →

Рис. 9. Сепарація вібропереміщенням зерен пшениці й зерен гороху, при $\alpha = 28$ град., $\nu = 20$ Гц, $A = 0,007$ м.

Рис. 10. Сепарація вібропереміщенням зерен рису й зерен гороху, при $\alpha = 28$ град., $\nu = 20$ Гц, $A = 0,007$ м.



← зерна пшениці полістирол →

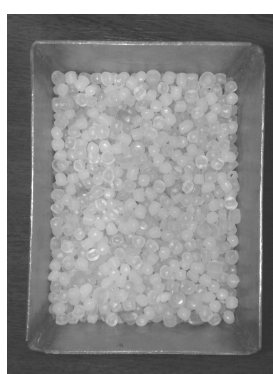


Рис. 11. Сепарація пшениці й часток полістиролу, при $\alpha = 28$ градусів, $\nu = 20$ Гц, $A = 0,007$ м.

Рис. 12. Зразки фракцій після поділу зерен пшениці й часток полістиролу.

У результаті проведення експериментальних досліджень було доведено, аналітично обґрунтоване існування протилежне спрямованого вібропереміщення при незмінних геометричних і кінематичних параметрах процесу, що ґрунтується на відмінності коефіцієнтів тертя.

У п'ятому розділі досліджувався процес фракціонування на горизонтальному барабанному ситовому класифікаторі, вісь якого нахилена під малим кутом до горизонту. Виграш продуктивності в барабан-ситі досягали збільшенням ефективної ситової поверхні за рахунок застосування вібрації, яка знижувала кут підйому сипкого матеріалу в обертовому барабані, тим самим збільшувалась проекція площі барабанного сита, що займана матеріалом, на горизонтальну площину. Дослідження, що проведені в гладкому обертовому циліндрі, дали своє підтвердження (рис 13.).

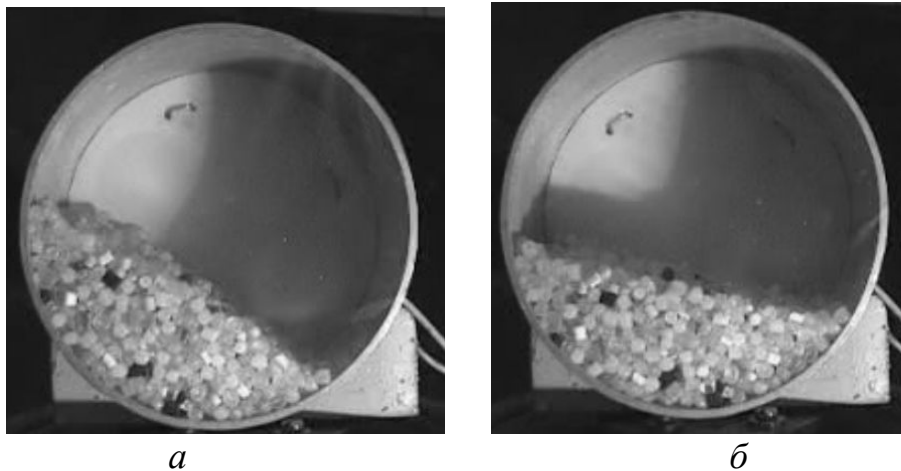


Рис. 13. Вплив вертикальних коливань на кут підйому матеріалу в обертовому гладкому циліндрі, при постійній кутовій швидкості обертання.

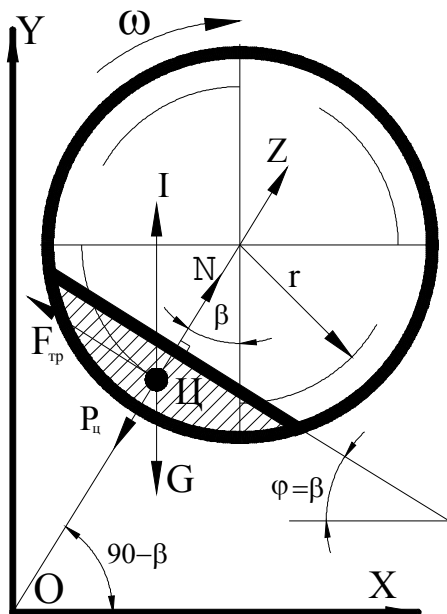


Рис. 14. Схема сил діючих на продукт у середині обертового барабана під впливом вертикальних коливань.

Для визначення кута підйому сипкого продукту в обертовому барабані β у режимі «з обваленням» при впливі вертикальних коливань, розглянули сили, що діють на частки сипкого продукту, який перебуває в барабані. При цьому прийняли допущення, що сипкий продукт є суцільним тілом сегментної форми із центром маси в крапці Ц (рис. 14) і вплив повітряного середовища невідчутний. У нерухливій системі координат XOY будемо розглядати рух продукту, додаткова вісь OZ розташована так, щоб вона проходила крізь центр барабана й крапку Ц. Проекція сил на вісь OZ :

$$N - P_{\text{ц}} - G \cos \beta + I \cos \beta = 0 \Rightarrow N = P_{\text{ц}} + G \cos \beta - I \cos \beta, \quad (19)$$

де N – реакція опори; $P_{\text{ц}}$ – відцентрова сила; G – сила гравітації; I – сила інерції. Знаючи N можна визначити силу тертя: $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu(P_{\text{ц}} + G \cos \beta - I \cos \beta)$ – вважаючи, що коефіцієнт тертя $\mu = \operatorname{tg} \rho$, де ρ – кут тертя. У нашому випадку поверхня барабана перфорована, матеріал частиною просів в отвори, а нижні шари під вагою верхніх зчеплені з поверхнею один з одним. Тому рух матеріалу в барабані здійснюється, в основному, за рахунок обвалення верхніх шарів. Т.к. ковзання верхніх шарів продукту по нижніх і ситі починається при куті обвалення φ , то $\rho \approx \varphi$, а з рис. 14 виходить, що $\varphi = \beta$. Тобто, можемо записати: $\rho \approx \varphi = \beta$ або $\mu \approx \operatorname{tg} \beta$. Тоді сила тертя:

$$F_{\text{тр}} \approx \operatorname{tg} \beta (P_{\text{ц}} + G \cos \beta - I \cos \beta). \quad (20)$$

З системи координат XOY , складемо проекції сил на вісь OX .

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= -F_{\text{тр}} \cos \beta + N \sin \beta - P_{\text{ц}} \sin \beta \Rightarrow \\ \Rightarrow m\ddot{x} &= -F_{\text{тр}} \cos \beta + G \cos \beta \sin \beta - I \cos \beta \sin \beta. \end{aligned} \quad (21)$$

У результаті подальших математичних перетворень одержимо:

$$\begin{aligned} &[g(\cos \beta + 1) \sin \beta - \omega_{\text{в}}^2 r \cdot \operatorname{tg} \beta](t - t_0) - \\ &A \omega_{\text{к}} (\sin \omega_{\text{к}} t - \sin \omega_{\text{к}} t_0) (\cos \beta + 1) \sin \beta = \omega_{\text{в}} r \cos \beta. \end{aligned} \quad (22)$$

Де t і t_0 – поточний час і момент відриву продукту відповідно. Із цієї рівності (22) визначиться нове стабільне положення кута β , при якому матеріал у формі сегмента буде перебувати в динамічній рівновазі на коливній перфорованій поверхні обертового барабана.

Так-як використовуємо режим обертання барабана «з обваленням», то відразу визначили максимальний кут β_{max} при різних обсягах завантаження.

Таблиця 3. Значення кута β_{max} при різних обсягах завантаження

Частина завантаження барабана	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10
кут β_{max} , град.	15,363	23,827	29,463	33,593	36,803	39,398	41,559	43,397

Завдання визначення осьової швидкості переміщення сипкого продукту в обертовому барабані, встановленим під малим кутом до горизонту й при впливі вібрації – вирішувалося у два етапи.

Перший етап – визначення осьової швидкості переміщення сипкого продукту від обертання барабана, заснований на розповсюдженій

напівемпіричній формулі. Час перебування матеріалу в обертовому горизонтальному барабані, вісь якого нахилена до горизонту:

$$t = \frac{0,0031(\psi + 24)L}{nDtg\alpha} \text{ мин, або } t = \frac{0,0031(\psi + 24)L\pi \cdot 60}{30\omega_b Dtg\alpha} \text{ с,} \quad (23)$$

де: ψ – кут природнього укосу матеріалу (град); L – довжина барабана (м); n – число обертів барабана у хвилину (об/хв); D – внутрішній діаметр барабана, (м); ω_b – кутова швидкість обертання барабана, (рад/с); α – кут нахилу осі барабана до горизонту (рад). Використовуючи напівемпіричну формулу (23) можемо визначити швидкість переміщення матеріалу уздовж осі похилого барабана, що виникає внаслідок його обертання:

$$V_\omega = \frac{L}{t} = L / \left(\frac{0,0062(\psi + 24)L\pi}{\omega_b Dtg\alpha} \right) = \frac{\omega_b Dtg\alpha}{0,0062(\psi + 24)\pi} \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (24)$$

З табл. 6 при 1/3 завантаження барабана, $\beta_{\max} = 15,363$ град. Тоді можемо записати наступне:

$$V_\omega = \frac{\omega_b Dtg\alpha}{0,0062(\psi + 24)\pi} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad \text{при } \beta_{\max(1/3)} = 15,363 \text{ градуса.} \quad (25)$$

У результаті застосування вібрації кут β зменшиться й пропорційно йому знизиться осьова швидкість продукту в барабані V_ω , тоді, наприклад при 1/3 завантаження барабана й $\beta = 10$ град., одержимо:

$$V_\omega = \frac{\omega_b Dtg\alpha}{0,0062(\psi + 24)\pi} \cdot \frac{10}{15,363}. \quad (26)$$

Осьова швидкість переміщення матеріалу для будь-якого можливого кута β при 1/3 завантаження барабана. Можливі значення β перебувають у межах $(\psi \dots \beta_{\max(1/3)})$:

$$V_\omega = \frac{\omega_b Dtg\alpha}{0,0062(\psi + 24)\pi} \cdot \frac{\beta}{\beta_{\max(1/3)}}. \quad (27)$$

За аналогією, при $\frac{1}{i}$ завантаженні барабана, де i – частина завантаження:

$$V_\omega = \frac{\omega_b Dtg\alpha}{0,0062(\psi + 24)\pi} \cdot \frac{\beta}{\beta_{\max(1/i)}}, \quad \text{где } \beta \in \left(\psi \dots \beta_{\max(1/i)} \right). \quad (28)$$

Значення β для різних рівнів завантаження можуть бути взяті з табл. 3; встановлювана величина ω_y залежить від обраних радіусів барабанів.

Другий етап – визначення осьової швидкості переміщення сипкої сировини від вертикальної вібрації.

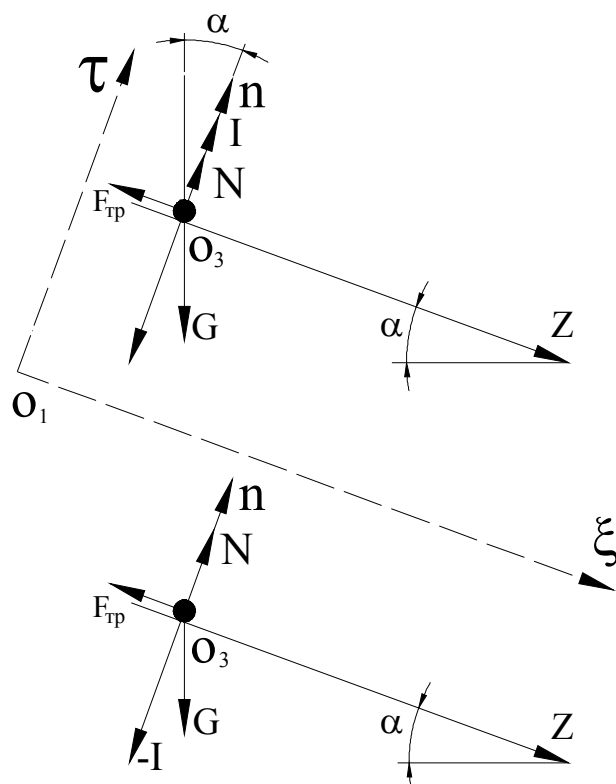


Рис. 15. Схема сил діючих на моношар сипкої сировини.

Застосування вібрації до обертового барабана прискорить процес переміщення сировини тому, що коливна поверхня розташована під кутом до горизонту. Коливання рухливої системи nO_3Z розглядаються щодо нерухливої системи $\xi O_1\tau$, на рис. 15. її положення збігається з лінією статичної рівноваги. У системі $\xi O_1\tau$, РО робить кутові гармонійні коливання, але враховуючи значний їх радіус і малу амплітуду коливань, будемо вважати коливання лінійними, які описуються рівняннями:

$$\begin{aligned}\xi_{\text{кп}} &= Z = \text{const.} \\ \tau_{\text{кп}} &= A \sin \omega t.\end{aligned}\quad (29)$$

Де m – маса шару сировини, сила гравітації $G=mg$ (g – прискорення вільного падання), сила інерції $I=mA\omega^2\sin\omega t$, (A – амплітуда коливань; ω – циклічна частота коливань), α – кут нахилу поверхні до горизонту, сила тертя $F_{\text{тр}}=\mu N$ (μ – коефіцієнт тертя, N – нормальна реакція). Відцентрову силу в цій схемі не враховуємо тому що для режиму «з обваленням» використовуються низькі оберти. Диференціальне рівняння руху шару продукту на етапі польоту, виходячи зі схеми сил, уздовж осей Z і n :

$$\begin{aligned}m\ddot{Z} &= G \sin \alpha \Rightarrow \ddot{Z} = g \sin \alpha, \\ m\ddot{n} &= -G \cos \alpha \Rightarrow \ddot{n} = -g \cos \alpha.\end{aligned}\quad (30)$$

Після подальших математичних перетворень середня швидкість вібропереміщення складе:

$$\bar{V}_z = \frac{\omega}{2\pi k} \left[\frac{1}{2\omega^2} g(\varphi_1 - \varphi_0)^2 \sin \alpha + \frac{1}{2\omega^2} g(\varphi_2 - \varphi_1)^2 \sin \alpha - \frac{\mu g \cos \alpha}{2\omega^2} (\varphi_2 - \varphi_1)^2 - \right. \\ \left. - \mu A (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1) + \mu A \cos \varphi_1 (\varphi_2 - \varphi_1) + \frac{g}{\omega^2} (\varphi_1 - \varphi_0) (\varphi_2 - \varphi_1) \sin \alpha \right]. \quad (31)$$

Де: k – число цілих періодів коливань за повний цикл вібропереміщення; φ_0 – фазовий кут відриву; φ_1 – фазовий кут початку ковзання; φ_2 – фазовий кут кінця ковзання. Тоді загальна осьова швидкість переміщення продукту:

$$\bar{V}_o = \frac{\omega_b D t g \alpha}{0,0062(\psi + 24)\pi} \cdot \frac{\beta}{\beta_{\max(1/4)}} + \frac{\omega}{2\pi k} \left[\frac{1}{2\omega^2} g(\varphi_1 - \varphi_0)^2 \sin \alpha + \frac{1}{2\omega^2} g(\varphi_2 - \varphi_1)^2 \sin \alpha - \right. \\ \left. - \frac{\mu g \cos \alpha}{2\omega^2} (\varphi_2 - \varphi_1)^2 - \mu A (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1) + \mu A \cos \varphi_1 (\varphi_2 - \varphi_1) + \frac{g}{\omega^2} (\varphi_1 - \varphi_0) (\varphi_2 - \varphi_1) \sin \alpha \right]. \quad (32)$$

На експериментальному стенді (рис. 16), використані кутові коливання. Встановлено: $A=0,001 \dots 0,005$ м однаково впливає на кут β , енергоємність кутових коливань менше в 1,4 рази, у порівнянні з вертикальними, обрана схема сепарації «від великого до дрібного». При проведенні експериментальних досліджень першорядне значення приділялося зміні кута підйому β залежно від параметрів процесу коливань барабанного сита, при обертанні в режимі «з обваленням». Розмір барабанів і частота їх обертання прораховані і наведені в табл. 4.

Таблиця 4. *Радіуси, оберти й кутові швидкості барабанів* ($L_{bp}=0,775$ м.)

	1 барабан-сито	2 барабан-сито	3 барабан-сито	4 барабан-сито
r , м	0,125	0,205	0,285	0,365
n , хв^{-1}	84,855	66,260	56,196	49,657
ω_b , рад/с	8,886	6,939	5,885	5,200

Фото експериментального стенда зображено на рис 16. Результати експерименту по зміні кута підйому β залежно від параметрів процесу коливань наведені на рис. 17 і 18, а також у табл. 5 і 6.

Таблиця 5. *Оптимальні параметри коливань для кута $\beta_{\min}$*

Завантаження барабана	Амплітуда, м.	Частота, Гц.	Кут $\beta_{\min}$, град.
на 1/3.	0,001 – 0,005	22 – 24	3,6 – 4,1
на 1/4.	0,001 – 0,005	22 – 24	6,1 – 7,3
на 1/5.	0,001 – 0,005	22 – 24	8,2 – 10,5
на 1/6.	0,001 – 0,005	22 – 24	9,8 – 12,4
на 1/7.	0,001 – 0,005	22 – 24	12,1 – 14,1
на 1/8.	0,001 – 0,005	22 – 24	13,7 – 15,2
на 1/9.	0,001 – 0,005	22 – 24	14,2 – 16,3
на 1/10.	0,001 – 0,005	22 – 24	14,9 – 17,6

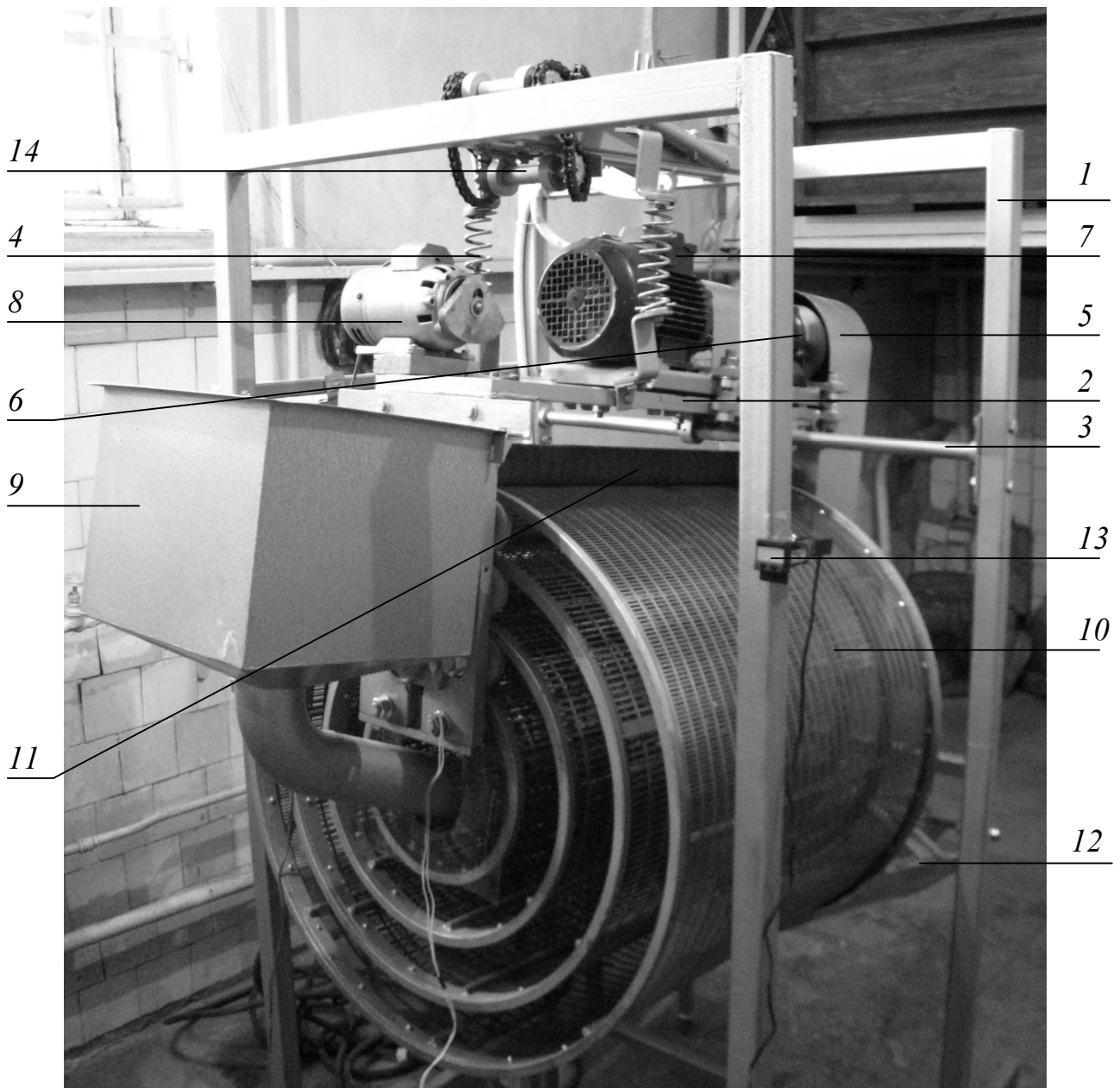


Рис. 16. Експериментальний стенд: 1 – опорна рама; 2 – підстава привода; 3 – штанга опорної рами; 4 – пружинні ресори; 5 – пасова передача; 6 – редуктор привода; 7 – електродвигун; 8 – відцентровий вібратор; 9 – завантажувальний бункер; 10 – перфоровані барабани; 11 – валики; 12 – комплект ринви; 13 – тахометр; 14 – пристрій для ремонту.

Таблиця 6. Збільшення ефективної ситової поверхні залежно від обсягу завантаження барабана, при його обертанні із використанням вібрації

Обсяг завант. барабана	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10
кут $\beta_{\max}$, град. без вібрації	15,363	23,827	29,463	33,593	36,803	39,398	41,559	43,397
кут $\beta_{\min}$, град. при вібрації	3,6	6,1	8,2	9,8	12,1	13,7	14,2	14,9
% збіл. ефект. поверх. сит	3,6	8,6	14	15,5	18,2	20,5	22,9	24,9

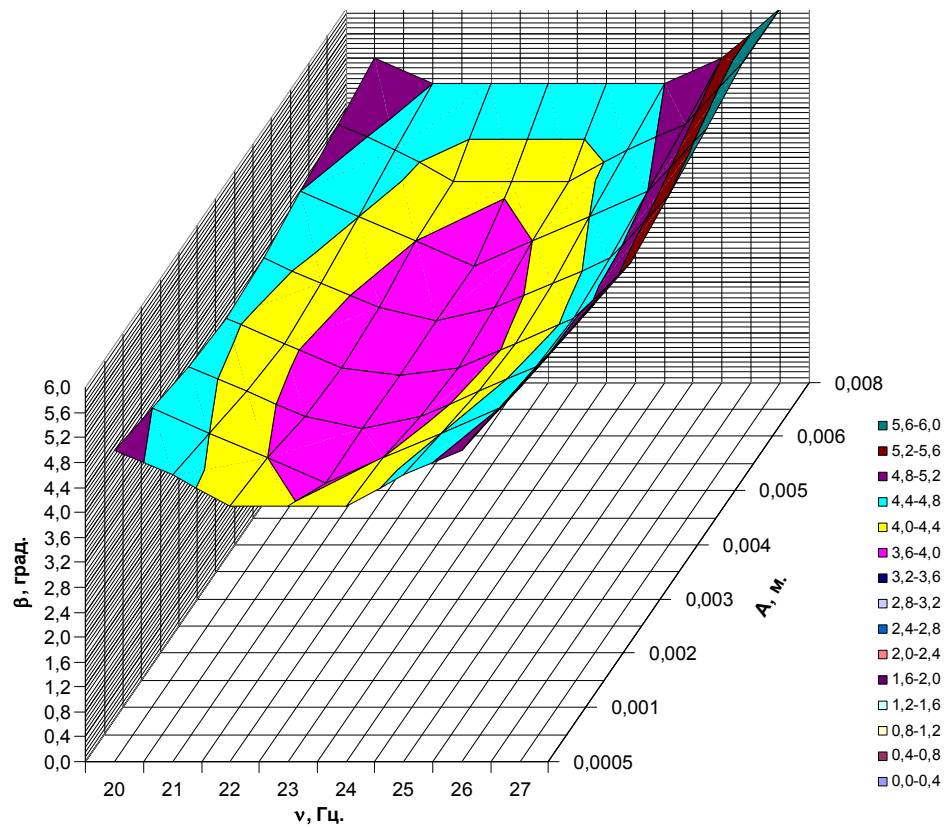


Рис. 17. Експериментальна залежність кута підйому матеріалу β від частоти ν і амплітуди A коливань барабана, при його завантаженні на $1/3$.

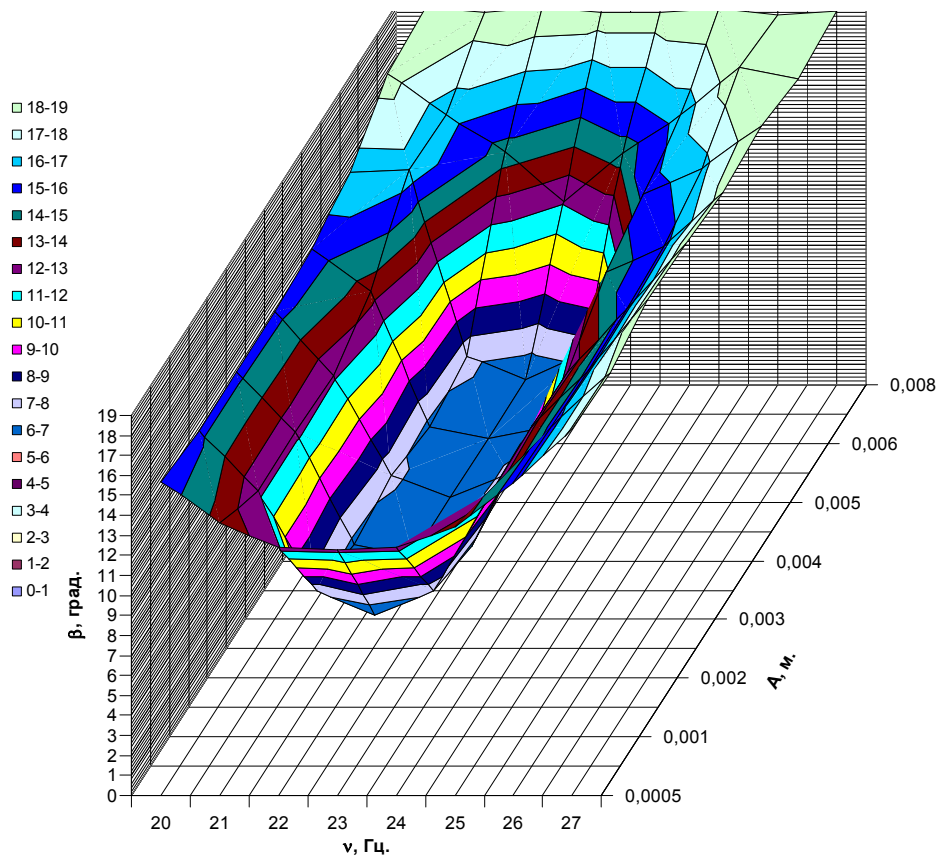


Рис. 18. Експериментальна залежність кута підйому матеріалу β від частоти ν і амплітуди A коливань барабана, при його завантаженні на $1/4$.

У результаті дослідження сепарації на горизонтальних барабанних сепараторах, що працюють у режимі «з обваленням», розроблений режим руху сипкої сировини всередині обертового барабана під впливом механічних коливань. У результаті застосування вібрації при роботі горизонтальних ситових барабанних класифікаторів, можна підвищити їхню продуктивність у середньому на 3,6...24,9%, залежно від обсягу завантаження барабана.

Шостий розділ присвячений фракціонуванню плодів на обертовому диску за рахунок відцентрової сили. Для обґрунтування схеми роботи запропонованої відцентрової калібрувальної машини запропонована розрахункова схема сил (рис. 19), яка складена з урахуванням умов, коли переміщення плода відбувається по незмінному радіусу диска, тобто прискорення Кориоліса відсутнє.

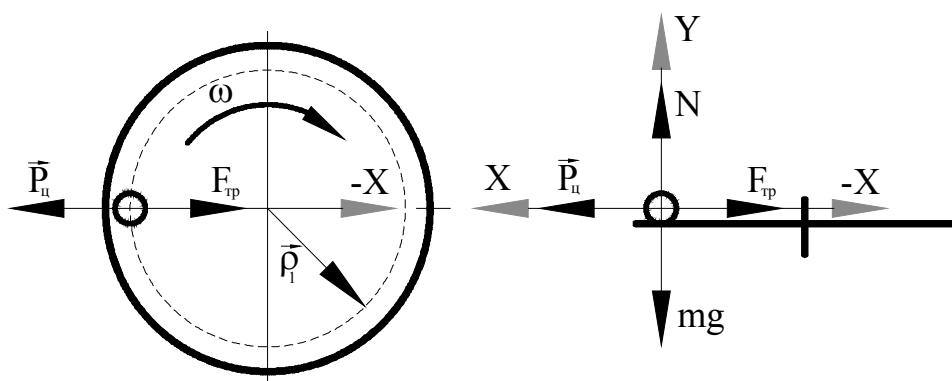


Рис. 19. Сили діючі на одиницю сировини, яка перебуває на обертовому диску.

Тому вибравши систему координатних осей X і Y , розглянувши дії сил, де $\vec{P}_{\text{ц}}$ – відцентрова сила, $F_{\text{тр}}$ – сила тертя, N – нормальна реакція, m – маса плода, g – прискорення вільного падіння, $\vec{r}_1$ – мінімальний радіус диска, на якому може перебувати плід, можемо записати:

$$\sum F_x = \vec{P}_{\text{ц}} - F_{\text{тр}} \neq 0, \sum F_y = N - mg = 0, \quad (33)$$

$$F_{\text{тр}} = N \cdot \mu, \quad \vec{P}_{\text{ц}} = m \vec{r}_1 \omega^2, \quad (34)$$

де ω - кутова швидкість обертання диска, μ - коефіцієнт тертя. Для зменшення габаритів машини значення радіуса $\vec{r}_1$, повинне бути таким, щоб відцентрова сила, що слабшає до центру, могла зрушити плід. Отже, необхідно визначити умову, при якій плід зможе переміщатися на найменшому радіусі.

Після підстановок, рівняння суми всіх сил діючих на плід по осі X :

$$\sum F_x = m \vec{r}_1 \omega^2 - mg\mu. \quad (35)$$

Переміщення одиниці сипкої сировини під впливом сили інерції, відбувається за умови виконання нерівності:

$$m \vec{r}_1 \omega^2 - mg\mu > 0. \quad (36)$$

Вирішуючи нерівність, визначимо потрібну ω для створення необхідної I – сили інерції. Звідки мінімальне значення ω :

$$m\vec{\rho}_1 \omega^2 > mg\mu, \Rightarrow \vec{\rho}_1 \omega^2 > g\mu, \quad \omega_{\min} \geq \sqrt{\frac{g\mu}{\vec{\rho}_1}}. \quad (37)$$

Враховуючи власне обертання плода, його лінійна швидкість, на дисковому калібрувальному пристрої визначиться як:

$$\vec{V} = \frac{\omega}{2} \vec{\rho}. \quad (38)$$

Використовуємо відому формулу для визначення питомого тиску:

$$P_{\text{уд}} = \frac{\vec{F}}{S}, \quad (39)$$

де $\vec{F}$ - сила притиснення плода до дуги, S - площа на яку діє сила $\vec{F}$, по рис. 20 можна погодитись, що $\vec{F} = \vec{P}_{\text{ц}}$.

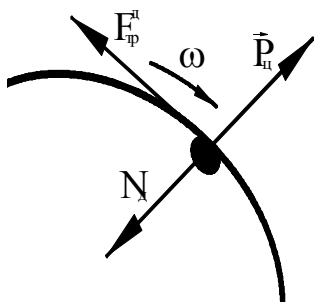


Рис. 20. Сили, що діють на плід при зіткненні з дугою.

Якщо врахувати, що лінійна швидкість плода, що котиться, визначиться з (38), то враховуючи $\vec{F}$ що $\vec{P}_{\text{ц}} =$, а також вираження (34), можемо одержати формулу для визначення $P_{\text{уд}}$. При використанні обраної схеми роботи машини, необхідне дотримання двох нерівностей.

$$P_{\text{уд}} = \frac{m\vec{\rho}_n \left(\frac{\omega}{2} \right)^2}{S} \leq P_{\text{доп}} \Rightarrow \omega_n = \sqrt{\frac{4P_{\text{уд}}S}{m_{\text{пл}}\vec{\rho}_n}}. \quad (40)$$

Де $\vec{\rho}_n$ – максимальний радіус диска, на якому буде перебувати плід, притиснутий до огороження. Максимальний радіус вибирається тому, що саме на ньому плід випробовує найбільші механічні перевантаження.

Нерівність (36) забезпечить умову переміщення плода по поверхні обертового диска, а нерівність (40) забезпечить відсутність механічного ушкодження плода.

У результаті аналітичних досліджень були отримані припустимі параметри відцентрового фракціонування (табл. 7), залежність кутової

швидкості від номінального радіуса диска (Рис. 21) і значення питомого тиску залежно від ω_n і $\bar{\rho}_n$ (рис. 22).

Таблиця 7. Параметри відцентрової сепарації для одиниць сипкої сировини різних культур, при $\bar{\rho}_n = 0,6$ м

Назва плодів	Мех. проч. кг/см ²	Середня маса плода найбільшої фракції, кг	$P_{\text{доп}}$, кПа	ω_n , рад/с	n , хв ⁻¹
1	2	3	4	5	6
Плоди					
Яблуко	5,4-8,6	0,350	540	16,022	153
Картопля	17-22	0,383	1500	25,552	244
Буряк	19-27	0,440	1900	26,808	256
Огірок	11-15	0,170	1100	32,882	314
Морква	18-25	0,250	1800	34,662	331
Цибуля ріпчаста	14-15	0,180	1400	36,128	344
Зернові культури					
Квасоля(зерна)	100- 110	0,015	10000	33,406	319
Горох (зерна)	100-103	0,010	10000	40,841	390

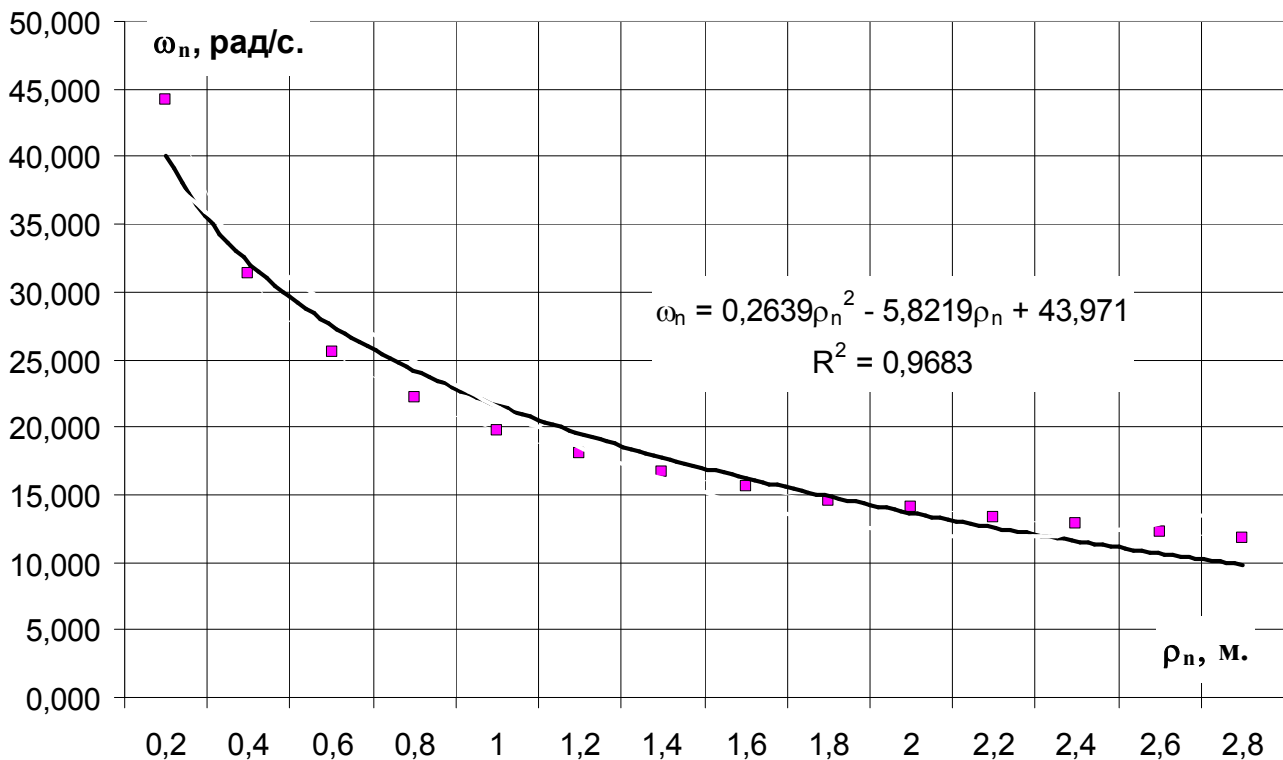


Рис. 21. Взаємозалежність кутової швидкості й номінального радіуса диска, при номінальному $P_{y0} = 1500$ кПа.

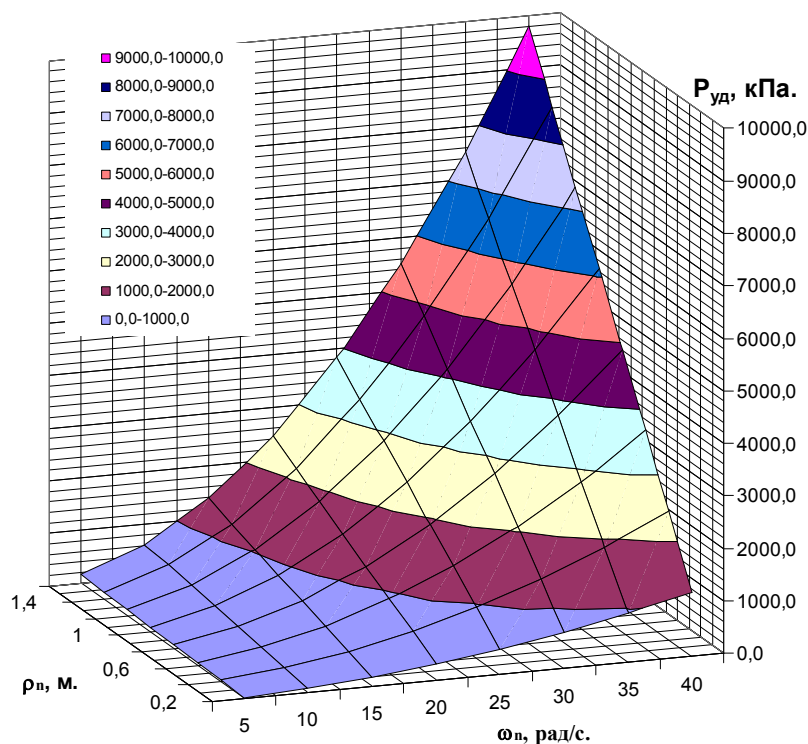


Рис. 22. Значення питомого тиску залежно від ω_n і $\bar{\rho}_n$.

Визначена безпечна швидкість відцентрової схеми калібрування для картоплі (табл. 8).

Таблиця 8. Безпечна швидкість $\bar{V}_{\text{пл-к}}^{\text{теор}}$ для плодів картоплі при використанні відцентрової схеми калібрування, $\bar{\rho}_n = 0,305$ м, $\gamma = 15$ град

$d_{\text{пл}}, \text{ м}$	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12
$\bar{V}_{\text{пл-к}}^{\text{теор}}, \text{ м/с}$	1,392	1,389	1,399	1,394	1,4	1,391	1,394	1,395	1,394
$\omega_n, \text{ рад/с}$	9,948	10,158	10,472	10,681	10,996	11,205	11,519	11,833	12,147
$n_n, \text{ хв}^{-1}$	95	97	100	102	105	107	110	113	116

Експериментальний стенд відцентрової калібрувальної машини ($\omega_n = 20,944$ рад/с, при $\bar{\rho}_n = 0,6$ м) зображений на рис. 23, зразок, виконаний у металі.

Результати проведених експериментів підтвердили розрахункові дані таблиць 7 і 8, також експериментально були отримані значення представлені в таблицях 9, 10, 11. $L_{\text{пл}}$ – розрахунковий шлях переміщення плода.

Таблиця 9. Час і швидкість переміщення для плодів картоплі при різних ω_n

$d_{\text{пл}}, \text{ м}$	0,04	0,06	0,08	0,12
$t_1, \text{ з}$	0,41	0,5	0,56	0,57
$t_2, \text{ з}$	0,46	0,42	0,52	0,59
$t_3, \text{ з}$	0,42	0,49	0,51	0,67
$t_{\text{ср}}, \text{ з}$	0,43	0,47	0,53	0,61
$V_{\text{пл-к}}^{\text{екс}}, \text{ м/с}$	1,253	1,268	1,232	1,255
$\omega_n, \text{ рад/с.}$	9,948	10,472	10,996	12,147
$L_{\text{пл}}, \text{ м}$	0,539	0,596	0,653	0,766

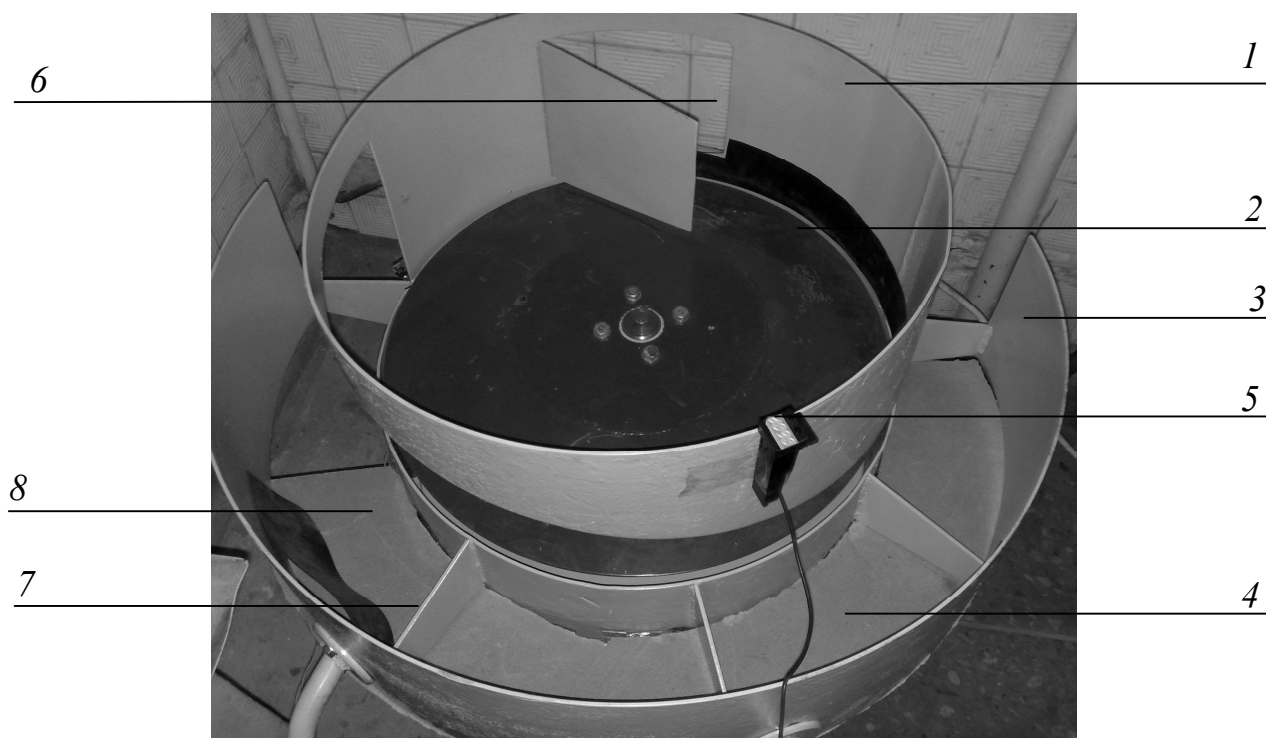


Рис. 23. Експериментальний зразок дискової калібрувальної машини: 1 – сталевий циліндр; 2 – диск; 3 – фракційна дуга; 4 – збірник фракцій; 5 – тахометр; 6 – завантажувальний проріз; 7 – тримачі; 8 – знімне днище.

Відмінність експериментальних і теоретичних даних становить не більш 10%. При ретельному огляді плодів по завершенню досвіду механічних ушкоджень у жодній із фракцій не виявлене.

Таблиця 10. Час і швидкість плодів картоплі $\omega_n=9,948 \text{ рад/с}$, ($n = 95 \text{ хв}^{-1}$)

$d_{\text{пл}}, \text{ м}$	0,04	0,06	0,08	0,12
$t_1, \text{ с}$	0,41	0,56	0,61	0,77
$t_2, \text{ с}$	0,46	0,49	0,56	0,82
$t_3, \text{ с}$	0,42	0,48	0,57	0,78
$t_{\text{ср}}, \text{ с}$	0,43	0,51	0,58	0,79
$V_{\text{пл-к}}^{\text{екс}}, \text{ м/с}$	1,253	1,168	1,125	0,969
$\bar{V}_{\text{пл-к}}^{\text{террет}}, \text{ м/с}$	1,392	1,329	1,267	1,141
$L_{\text{пп}}, \text{ м}$	0,539	0,596	0,653	0,766

У табл. 10, різниця у швидкостях між найбільшою й найменшою фракцією $\Delta \bar{V}_{\text{пл-к}}^{\text{террет}} = 0,251 \text{ м/с}$, $\Delta V_{\text{пл-к}}^{\text{екс}} = 0,284 \text{ м/с}$ при $\omega_n = 9,948 \text{ рад/с}$. Різниця швидкості плодів при можливим зіткненні один з одним на поверхні диска, недостатня для одержання механічних ушкоджень або збою руху по дузі, через дію відцентрової сили.

У табл. 11 різниця у швидкостях між найбільшою й найменшою фракцією ріпчастої цибулі склала: $\Delta \bar{V}_{\text{пл-л}}^{\text{террет}} = 0,564 \text{ м/с}$, $\Delta V_{\text{пл-л}}^{\text{екс}} = 0,352 \text{ м/с}$, при $\omega_n = 22,41 \text{ рад/с}$. Максимальний діаметр цибулини використаний у практичних вимірах

рівний 0,08 м. Різниця швидкості плодів при можливому зіткненні один з одним на поверхні диска також, як і у випадку з картоплею безпечна.

Таблиця 11. Час і швидкість цибулин при $\omega_n = 22,41 \text{ рад/с}$, ($n=214 \text{ хв}^{-1}$)

$d_{\text{пл}}, \text{ м}$	0,04	0,06	0,08	0,12
$t_1, \text{ с}$	0,15	0,21	0,25	—
$t_2, \text{ с}$	0,18	0,19	0,21	—
$t_3, \text{ с}$	0,18	0,23	0,26	—
$t_{\text{ср}}, \text{ с}$	0,17	0,21	0,24	—
$V_{\text{пл-л}}^{\text{екс}}, \text{ м/с}$	3,073	2,838	2,721	—
$\vec{V}_{\text{пл-л}}^{\text{террет}}, \text{ м/с}$	3,135	2,994	2,853	2,571
$L_{\text{пл}}, \text{ м}$	0,539	0,596	0,653	0,766

Розбіжність між теоретичною й експериментальною швидкостями не перевищує 6%. Обране значення ω_n є максимально припустимим для цибулин з $d_{\text{пл}} = 0,04 \text{ м}$.

Механічних ушкоджень плодів при даному досвіді не виявлене. Вище описані досвіди проводилися для свіжезібраних коренеплодів і цибулин без застосування листової гуми на поверхнях машини. Овочі були обрані з однієї партії, виростили в однаковий час в однакових умовах.

Сьомий розділ розглядає вібровідцентрове фракціонування на конічних ситах з малим кутом конусності (не більше 30 град. до горизонту). На підставі швидкісного відеозапису процесу переміщення часток сипкої сировини по конічній поверхні коливного сита, що обертається, прийняли допущення, що шлях переміщення частки чи шару сипкої сировини проходить по прямій, що утворює конус сита. На рис. 24 розглядається переміщення ідеалізованого шару сировини масою m . На шар сировини масою m , діє сила гравітації $G=mg$, сила інерції $I = mA\omega_k^2 \sin \omega_k t$, відцентрова сила $\vec{P}_c$, сила сухого тертя $F_{\text{тр}}$, нормальна реакція N (A и ω_k – амплітуда й частота коливань конічного сита). Застосування вертикальних коливань у нашому випадку є абсолютно логічним, тому що в подібних рівноважних обертових конструкціях вони однаково діють у будь-якій крапці поверхні.

На рис. 24 сито зображене у верхньому, середньому й нижньому положеннях коливального процесу. Неінерційну систему прямокутних координатних осей XOY , прийняли за рухливу систему відліку, що жорстко зв'язана з коливною поверхнею сита. Переміщення конусного сита будемо розглядати відносно інерціальної системи $\xi O_1 \tau$, яка збігається з нейтральним положенням сита і є нерухливою системою відліку. У системі $\xi O_1 \tau$ сито робить прямолінійні гармонійні коливання, описувані рівняннями:

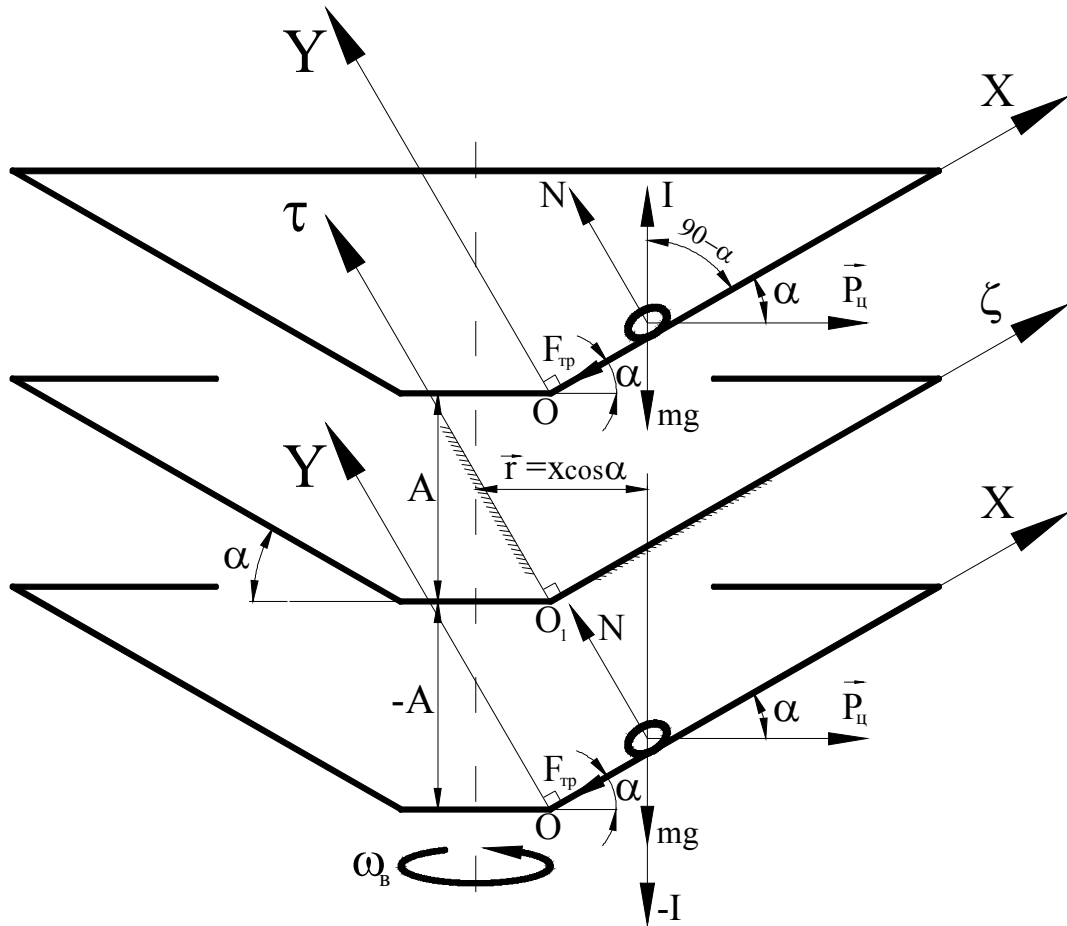


Рис. 24. Схема сил діючих на шар продукту.

$$\begin{aligned}\tilde{\xi} &= A \sin(\omega_k t) \cos(90^\circ - \alpha) = A \sin(\omega_k t) \sin \alpha, \\ \tilde{\tau} &= A \sin(\omega_k t) \sin(90^\circ - \alpha) = A \sin(\omega_k t) \cos \alpha.\end{aligned}\quad (41)$$

Рівняння відносного руху в проекціях на рухливі координатні осі XOY запишуться у вигляді:

$$\begin{aligned}m\ddot{x} &= mA\omega_k^2 \sin(\omega_k t) \sin \alpha - mg \sin \alpha + F_{\text{тр}} + \vec{P}_{\text{ц}} \cos \alpha, \\ m\ddot{y} &= mA\omega_k^2 \sin(\omega_k t) \cos \alpha - mg \cos \alpha + N - \vec{P}_{\text{ц}} \sin \alpha.\end{aligned}\quad (42)$$

Величину відцентрової сили визначимо з рівняння:

$$\vec{P}_{\text{ц}} = m\omega_B^2 \vec{r} = m\omega_B^2 x \cos \alpha, \quad (43)$$

де ω_B - частота обертання сита (рад/с), навколо власної вертикальної осі симетрії; $\vec{r} = x \cos \alpha$ - радіус сита, відстань від осі обертання сита до центру маси шару сировини.

У результаті математичних перетворень були отримані вираження для визначення переміщення S_T і теоретичної швидкості продукту $\vec{V}_T$ на конічному ситі з малим кутом конусності:

$$S_T = -\frac{A\omega_k^3(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)\sin\left[\sqrt{\omega_B^2\cos\alpha(\mu\sin\alpha - \cos\alpha)} \cdot t\right]}{\sqrt{\omega_B^2\cos\alpha(\mu\sin\alpha - \cos\alpha)}\left[\omega_B^2\cos\alpha(\mu\sin\alpha - \cos\alpha) - \omega_k^2\right]} +$$

$$+ \left[\frac{g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)}{\omega_B^2\cos\alpha(\mu\sin\alpha - \cos\alpha)} + x_0 \right] \cdot \cos\left[\sqrt{\omega_B^2\cos\alpha(\mu\sin\alpha - \cos\alpha)} \cdot t\right] - \quad (44)$$

$$- \frac{g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)}{\omega_B^2\cos\alpha(\mu\sin\alpha - \cos\alpha)} + \frac{A\omega_k^2(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)\sin\omega_k t}{\omega_B^2\cos\alpha(\mu\sin\alpha - \cos\alpha) - \omega_k^2}.$$

$$\vec{V}_T = -\frac{A\omega_k^3(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)\cos\left[\sqrt{\omega_B^2\cos\alpha(\mu\sin\alpha - \cos\alpha)} \cdot t\right]}{\omega_B^2\cos\alpha(\mu\sin\alpha - \cos\alpha) - \omega_k^2} -$$

$$- \sqrt{\omega_B^2\cos\alpha(\mu\sin\alpha - \cos\alpha)} \cdot \left[\frac{g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)}{\omega_B^2\cos\alpha(\mu\sin\alpha - \cos\alpha)} + x_0 \right] \cdot$$

$$\cdot \sin\left[\sqrt{\omega_B^2\cos\alpha(\mu\sin\alpha - \cos\alpha)} \cdot t\right] + \frac{A\omega_k^3(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)\cos(\omega_k t)}{\omega_B^2\cos\alpha(\mu\sin\alpha - \cos\alpha) - \omega_k^2}. \quad (45)$$

Побудовані графічні залежності розрахункового переміщення S_T і теоретичної швидкості продукту $\vec{V}_T$ від кінематичних і геометричних параметрів процесу, наведені на рис. 25, 26, 27, 28.

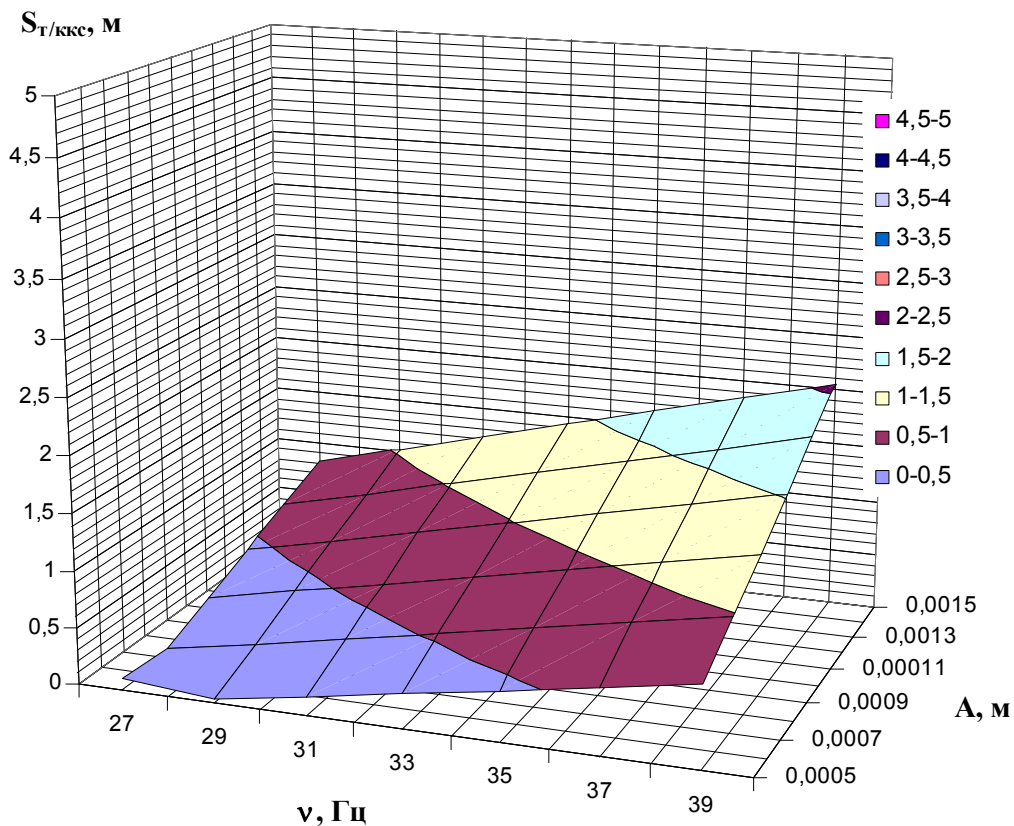


Рис. 25. Графічна залежність розрахункового переміщення часток продукту $S_{m/ккс}$, (м) по кінцічному сити від кінематичних параметрів A и ν , за $t=0,5$ с, при $\alpha=30$ град., $\vec{r}_0=0,02$ м, $\omega_B=8,901$ рад/с, $\mu=0,34$.

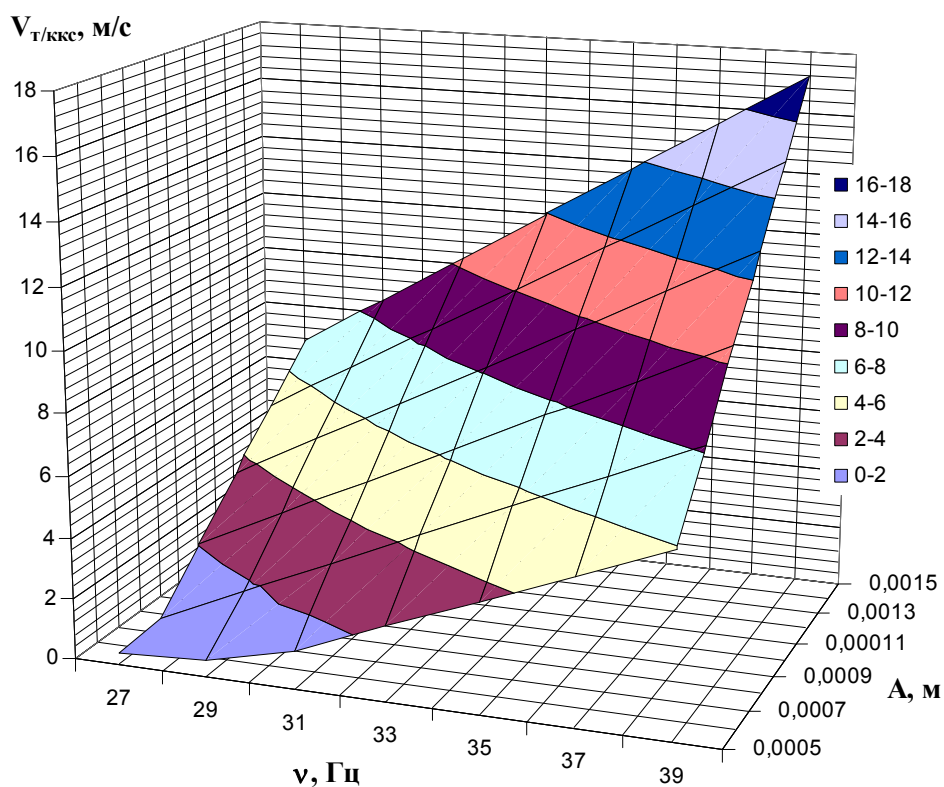


Рис. 26. Графічна залежність теоретичної швидкості часток продукту $\vec{V}_{T/KKS}$ (м/с) по кінцевому сити від кінематичних параметрів A и ν , за $t=0,5c$, при $\vec{r}_0=0,02$ м, $\alpha=30$ градусів, $\omega_B=8,901$ рад/с, $\mu=0,34$.

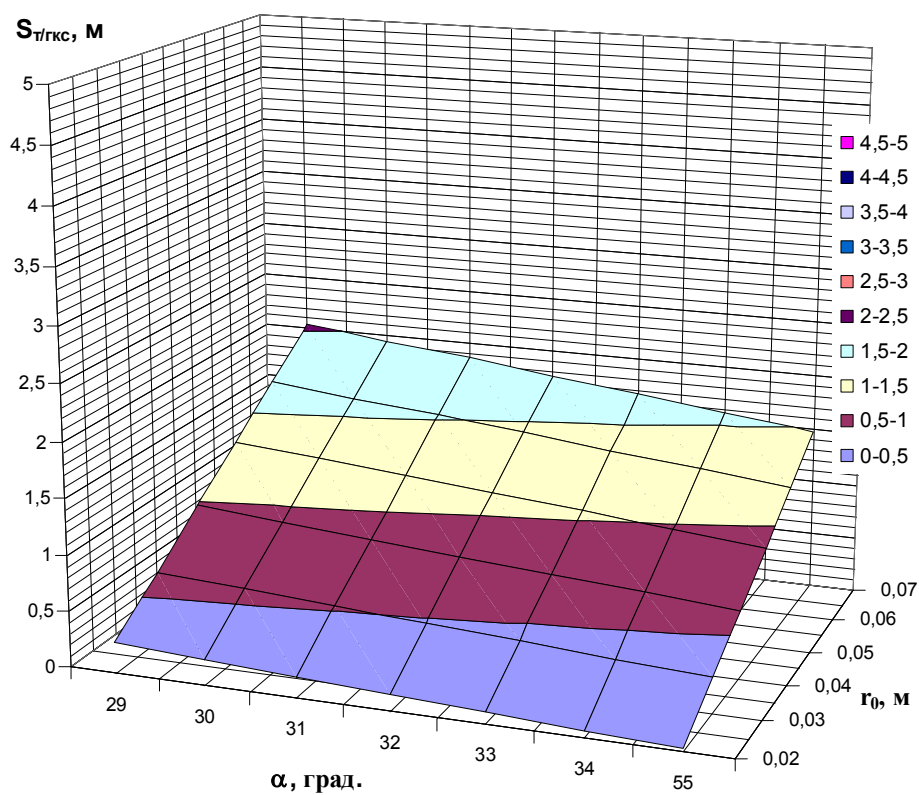


Рис. 27. Графічна залежність розрахункового переміщення часток продукту $S_{T/KKS}$ (м) по кінцевому сити від геометричних параметрів α и $\vec{r}_0$, за $t=0,5c$, при $A=0,0005$ м, $\nu=29$ Гц, $\omega_B=8,901$ рад/с, $\mu=0,34$.

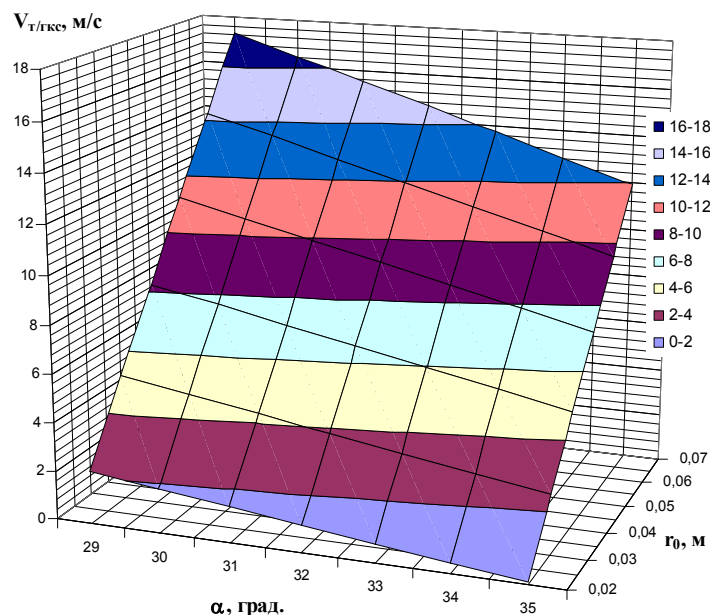


Рис. 28. Графічна залежність теоретичної швидкості часток продукту $\vec{V}_{Т/ГКС}$ (м/с) по кінченому ситі від геометричних параметрів α і $\vec{r}_0$, за $t=0,5$ с, при $A=0,0005$ м, $\nu=29$ Гц, $\omega_B=8,901$ рад/с, $\mu=0,34$.

Для проведення експериментальних досліджень було обрано (крупна пішоно ГОСТ 572-60). Проведення експериментальних досліджень здійснювалося за допомогою експериментального стенда ВЭДС-10А, рис. 30.

На початковий радіус завантаження $\vec{r}_0$ сита клали спеціально виготовлене кільце, μ якого на даному ситі дуже близько до μ продукту, кільце необхідне для візуального спостереження вібровідцентрового переміщення з метою зафіксувати час початку й кінця переміщення (рис. 31). Кільце засипається шаром продукту висотою в дві частки, (рис. 29). Сито 14 (рис. 30) плавно приводиться в обертання й оберти сита доводять до $\omega_B = 8,901$ рад/с, що становить $\frac{1}{2}$ від ω_B , при якій $\vec{P}_c$ почне зсув шару по поверхні сита. Обертання контролюються електронним тахометром 11. Після чого, через електродинамічний вібратор – 8, на сито 14 подаються механічні коливання із заздалегідь установленими кінематичними параметрами A і ν .

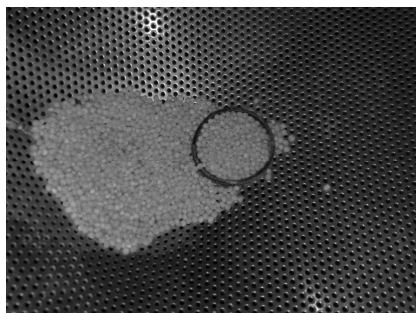


Рис. 29. Розташування спеціального кільця на початковому радіусі $\vec{r}_0$ сита.

При проведенні всієї серії експериментів використовувалася вихідна суміш продукту, у яку входили всі наявні фракції, тому при виконанні дослідів, завжди здійснювався процес сепарації продукту. Час переміщення визначався за допомогою швидкісного відеозапису.

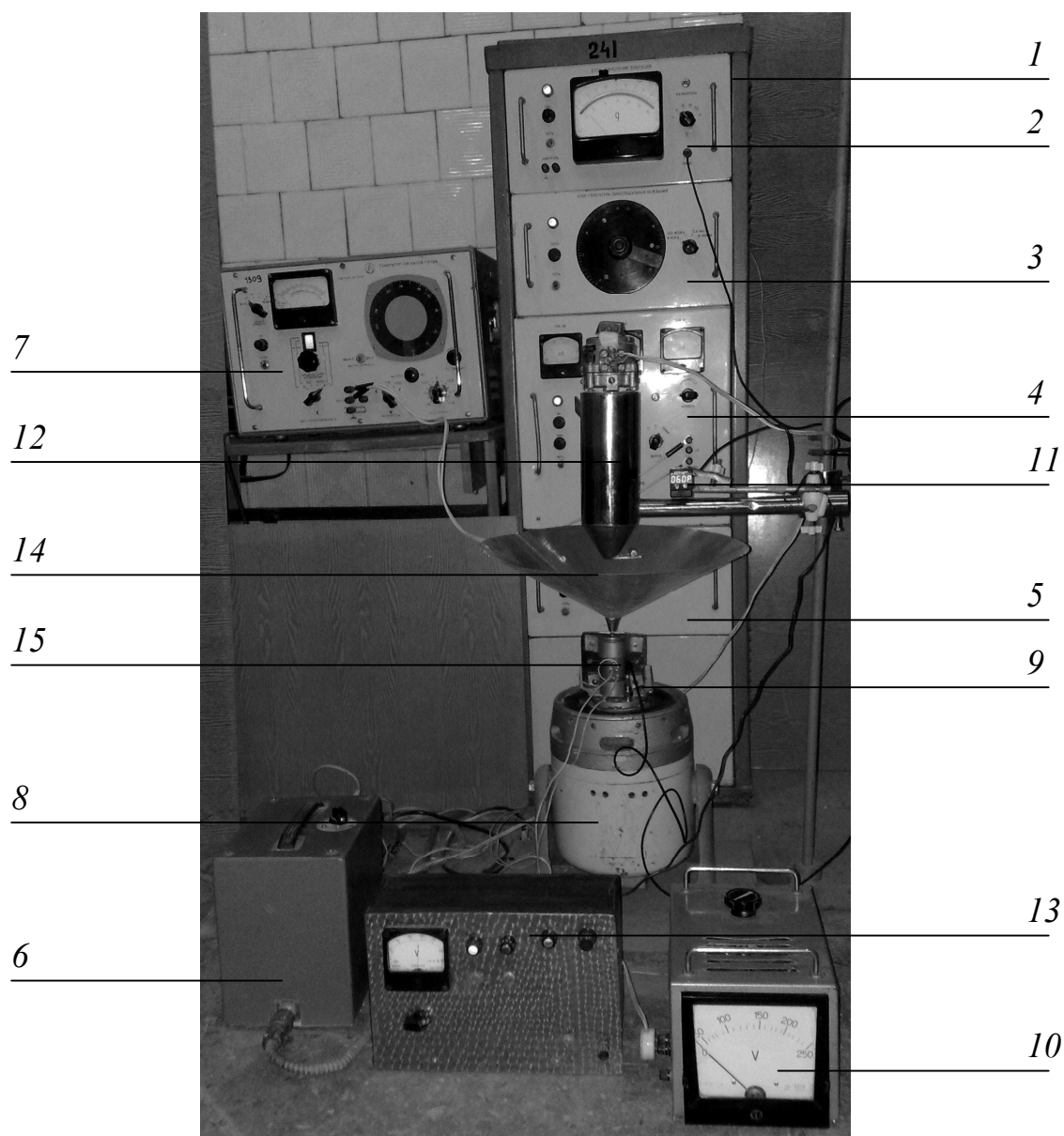


Рис. 30. Експериментальний стенд для визначення середньої швидкості переміщення сипучого продукту: 1 – ВЭДС-10А; 2 – блок виміру вібрації; 3 – генератор частоти коливань; 4 – підсилювач коливань; 5 – блок підмагнічування; 6 – блок фільтрів; 7 – контрольний генератор ГЗ-34; 8 – електродинамічний вібратор; 9 – п'єзоелектричний датчик ДН-4; 10 – прибор «Латр»; 11 – електронний тахометр; 12 – бункер автоматичної подачі продукту; 13 – блок керування бункером; 14 – конусне сито; 15 – електродвигун.

За значеннями експериментальних швидкостей шару сировини побудували залежність, зображену на рис. 32, її можна вважати подібною по характеру із залежністю на рис. 26. Головними відрізняючими рисами, є кілька горизонтальних сходинок і те, що зі зростанням значень $\bar{V}_{\text{э/ккс}}$, відхилення значень від $\bar{V}_{\text{т/ккс}}$ збільшується. Це пояснюється саме тим фактом, що вимір часу переміщення, відбувався з недостатньою для даного експерименту

точністю, обмеження це пов'язане з можливостями приборів для зняття показань, що є в наявності.



Рис. 31. Переміщення спеціального кільця по обертовому конічному сити під впливом вібрації й $\vec{P}_c$: а) момент початку переміщення; б) момент закінчення переміщення.

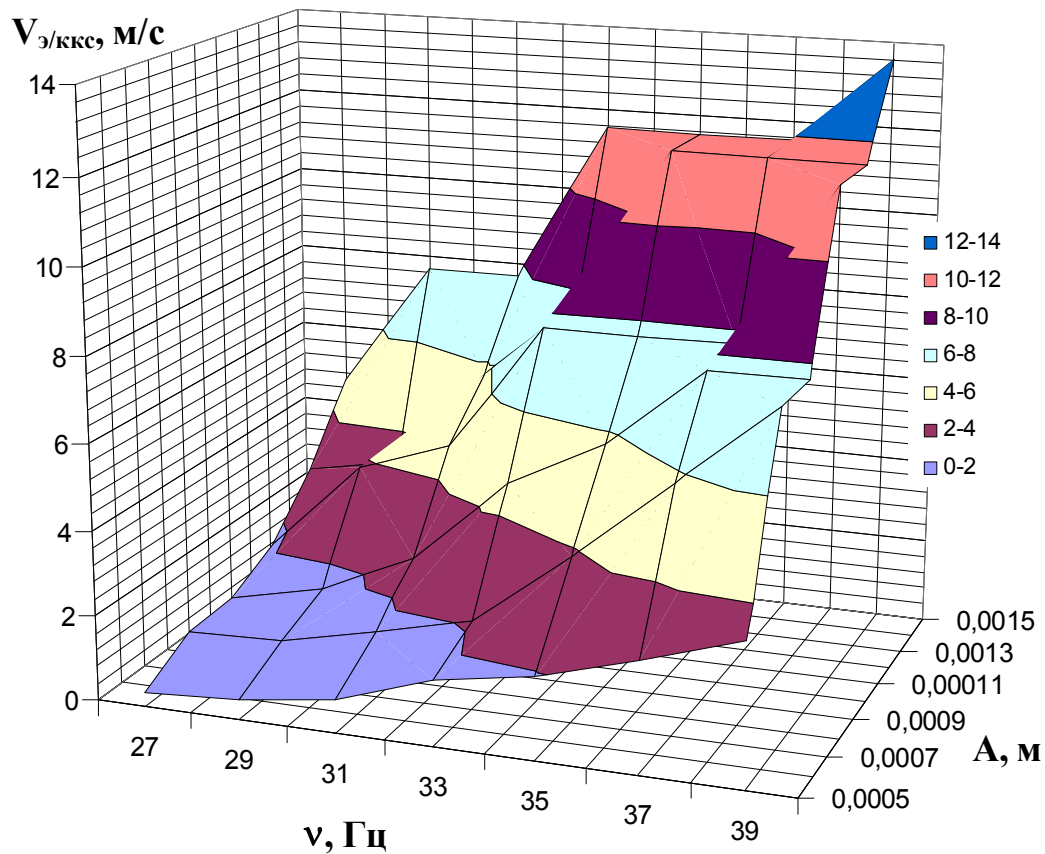


Рис. 32. Графічна залежність експериментальної швидкості $\vec{V}_{э/ккс}$, часток продукту від кінематичних параметрів A и ν , при $\vec{r}_0 = 0,02$ м, $\alpha = 30$ град., $\omega_B = 8,901$ рад/с, $\mu = 0,34$.

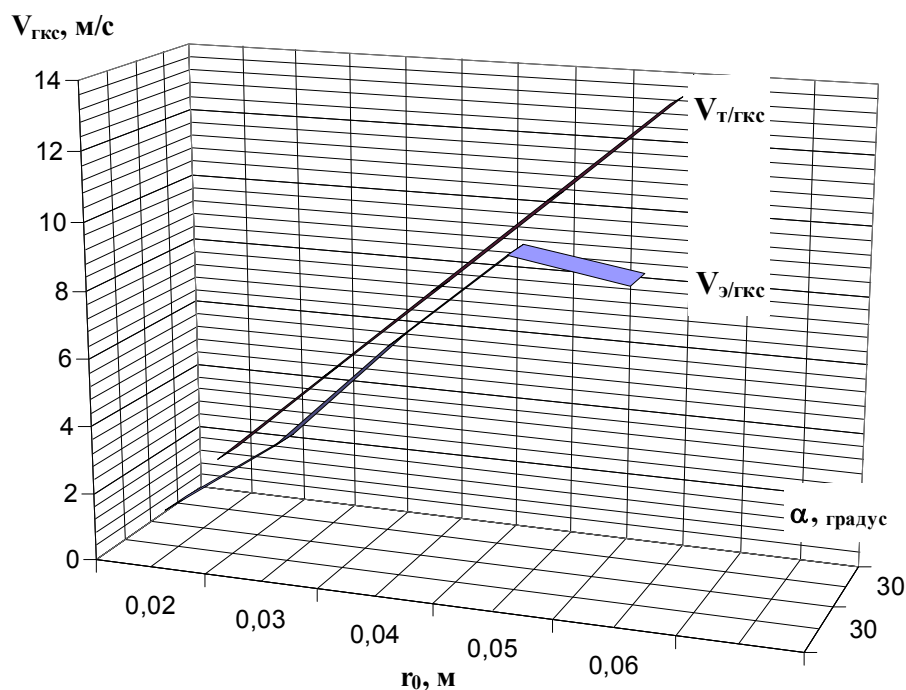


Рис. 33. Графічна залежність теоретичної $\vec{V}_{Т/ГКС}$, і експериментальної $\vec{V}_{Э/ГКС}$, швидкості часток продукту на конічному ситі від $\vec{r}_0$ при $A=0,0005$ м, $\nu=29$ Гц, $\alpha=30$ градус., $\omega_b=8,901$ рад/с.

Дослідження впливу геометричних параметрів на значення $\vec{V}_{Э/ГКС}$ відповідно до можливостей експериментальної бази проводили зі зміною величини $\vec{r}_0$, при $\alpha=30$ градусів. Аналізуючи графічну залежність, представлену на рис. 33, можна припустити, теоретичні значення $\vec{V}_{Т/ГКС}$ збігаються з експериментальними $\vec{V}_{Э/ГКС}$ в межах значень $\vec{r}_0 = 0,02 \dots 0,05$ м.

На підставі представлених даних проведених експериментів можна стверджувати, що теоретичні дослідження, підтверджуються досвідченим шляхом, а теорія руху сипкого продукту по конусних ситах, діаметром менш 0,5 м при впливі вертикальних механічних коливань, може бути використана на практиці.

ВИСНОВКИ

1. Узагальнений фактичний матеріал по конструкціях і принципах дії вітчизняних і закордонних машин для фракціонування рослинної сировини. Виявлена недостатня вивченість важливих фізико-механічних властивостей рослинної сировини. Встановлена необхідність модернізації деяких конструкцій решітних сепараторів і калібрувальних вібромашин або створення нових, з метою поліпшення їх технологічних параметрів. Виконаний аналіз енергоємності сучасних зерноочисних і калібрувальних машин. Встановлене, що в середньому питома витрата електроенергії зернових сепараторів становить 0,33 кВт·г/т, а для калібрувальних машин 0,67 кВт·г/т. Найбільшу питому витрату електроенергії мають: серед зернових сепараторів повітряно-ситові - 0,44 кВт·г/т, серед калібрувальних машин шнекові - 0,96 кВт·г/т. Для зменшення витрати електроенергії виконані теоретичні й експериментальні дослідження,

які дозволили розраховувати й розробити енергозберігаючі процеси, і створити нові, більш ефективні машини для фракціонування рослинної сировини.

2. Сипка рослинна сировина об'єднана в 4 розмірні класи, що близькі по розмірам і фізико-механічним властивостям. Переміщення сипкої сировини по робочих органах машин залежить від кутів зовнішнього тертя на різних ситових поверхнях: сталевих решетах із гніздами різної форми; дротяних сітках із гніздами різних розмірів. Встановлене мінімальне ушкоджувальне навантаження при заклинюванні сипкої сировини в пруткових решетах: для свіжезібраної картоплі, залежно від діаметра прутів решета вона становить 152...232 Н, для доспілих ріпчастих цибулин 129 ...196 Н. Застосування цих даних у кілька раз дозволить знизити ушкодження сировини.

3. Застосування обмежуючої поверхні, встановленої над решетом калібрувальної машини, знижує швидкість падіння сировини на кожному етапі польоту, що не допускає заклинювання одиниць сировини в решеті. Визначені раціональні параметри встановлення обмежуючої поверхні над решетом, 0,5...0,6 від максимальної висоти польоту сировини; параметри коливань деки: амплітуда 0,02 м; частота 26 Гц; кут спрямованості коливань 45° . Отримані оригінальні залежності швидкості падіння сировини на віброрешето залежно від коефіцієнта відновлення й висоти установки обмежуючої поверхні, а також швидкості вібропереміщення всіх фракцій картоплі й цибулі ріпчастої і їх середньої швидкості вібропереміщення, залежно від діаметра плода й відстані між обмежуючою поверхнею й решетом. Отримана емпірична залежність засмічення решета для плодів картоплі й цибулі ріпчастої із застосуванням обмежуючої поверхні і без неї. Досягається зниження засмічення решета в 10 разів при незмінних енерговитратах.

4. Встановлене існування нового механізму вібросепарації сипкої рослинної сировини на східчастому горизонтальному ситі при його горизонтальних коливаннях. Отримана залежність середньої швидкості вібропереміщення від кута нахилу сходинки й коефіцієнта зовнішнього тертя, яка вказує на можливість різноспрямованого вібропереміщення по сходинках сита. Обґрунтоване зниження споживаної потужності при горизонтальних коливаннях робочого органа в 1,4...2, 5 рази.

5. Отримане підтвердження, що напрямок вібропереміщення сипкої рослинної сировини по східчастому горизонтальному ситі залежить від кута нахилу сходинки й коефіцієнта зовнішнього тертя; визначені розрахункові параметри, що впливають на вибір напрямку руху сировини по східчастому ситі з використанням горизонтальних гармонійних коливань. Вібраційний сепаратор зі східчастими ситами дозволяє, уперше, сполучити процес ситової й фрикційної сепарації в одному апараті без збільшення енерговитрат, забезпечуючи високу якість обох процесів.

6. Встановлено, що вплив вертикальний спрямованих коливань змінює значення кута підйому сегментного шару сипкої рослинної сировини в обертовому, горизонтально встановленому ситовому барабані. Отримані диференціальні рівняння руху сипкої сировини дозволили встановити закон зміни його осьової швидкості й умову стабільного положення кута підйому шару сировини в барабані, продуктивність сепаратора. Обґрунтована заміна вертикальних коливань кутовими. Визначена осьова швидкість сировини при різних параметрах роботи барабанного сепаратора з різними обсягами завантаження, значення кутів підйому свіжезібраного зеленого горошку при різних обсягах завантаження. Раціональні кінематичні й геометричні параметри

для даного типу обладнання при $1/3 - 1/4$ завантаження барабана становлять: кут нахилу осі барабана 10^0 , частота коливань барабана 22...24 Гц, амплітуда коливань 0,001...0,005 м, частота обертання найменшого барабана 8,79 рад/с. У новій конструкції сепаратора збільшується площа ефективної ситової поверхні барабана на 3,6...24,9%, а отже й продуктивність.

7. Для дискової калібрувальної машини отримані вирази для визначення питомого тиску на одиницю сипучої сировини від дії відцентрової сили з боку обмежуючої дуги. Установлені параметри відцентрового фракціонування на диску калібрувальної машини для різної сировини залежно від механічної міцності плоду. Для ряду культур швидкості співударяння 3,6...4,4 м/с, є безпечними, при застосуванні гумового покриття товщиною 0,003 м на робочих поверхнях конструкції машини.

8. Обґрунтована можливість здійснення вібровідцентрової сепарації на конічному ситі з кутом конусності 10^0 - 30^0 до горизонту. Отримані закономірності руху шару рослинної сировини по конічній поверхні під дією відцентрової сили й вертикальної вібрації, визначені граничні умови процесу. Отримані вирази для визначення переміщення шару сировини і його швидкості на обертовій і вібруючій конічній поверхні, залежності переміщення й середньої швидкості від геометричних і кінематичних параметрів конусного сита.

9. Встановлені параметри переміщення рослинної сировини (пшона) залежно від кінематичних і геометричних параметрів конусного сита. Запропонована конструкція нового вібровідцентрового сепаратора, яка є більш простою, її витрати електроенергії в 2 рази менше серійних вібровідцентрових сепараторів типу Р8-БЦ2С.

10. Розроблена й застосована нова методика й пристрій для визначення механічної міцності одиниці сипучої сировини, що застрягла у решеті, методика визначення відстані між прутами решета, методика визначення геометричних параметрів барабанних сит відповідно до норм завантаженості сировиною, уточнена формула для визначення швидкості руху сировини на диску калібрувальної машини.

11. На базі виконаних досліджень запропоновані способи й обладнання для фракціонування сипкої харчової сировини, яке впроваджено на: АТЗТ «Торезська харчосмакова фабрика» м. Торез, Донецька обл.; ПАТ «Червоноармійський хлібозавод» м. Красноармійськ, Донецька обл.; ПТК «ШАХТАР» м. Донецьк; КФГ «Олександрівське» Донецька обл.; ДПЗ «Дніпро» м. Дніпропетровськ; ТОВ ПК «Млин» м. Донецьк; ООО «РАДУГА ГРУПП» м. Донецьк: розроблена конструкторська документація на дискову відцентрову калібрувальну машину. Загальний річний економічний ефект від впровадження розроблених конструкцій сепараторів і калібрувальних машин на підприємствах України склав 1,07 млн. грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК В НИХ АВТОРА

1. Фалько А.Л. Размерная классификация сыпучих пищевых продуктов: монография. изд. ДонНУЭТ / А.Л. Фалько, Донецк: 2009. – 215 с. – ISBN 978-966-385-164-8.
2. Фалько А.Л. Концептуальные основы создания вибрационных машин для калибровки и сепарации зерновых и овощных культур: монография изд.

ДонНУЕТ / А.Л. Фалько, И.Н. Заплетников, Донецк - 2012. – 178 с. – ISBN 978-966-385-268-3 ББК 30.605. *(Особистий внесок: розробка та викладання теоретичного матеріалу, проведення розрахунків та експериментів, обробка їх результатів).*

3. Falko, O. Study of the angle of the product in a rotating cylinder sieve under the influence of vibration / Falko O. // Food and Tourism / Transilvania Univ. of Brasov. – Brasov, 2012. – Vol. 8, № 1. – P. 119-124.

4. Фалько А.Л. Повышение производительности ситовых барабанных сепараторов / А.Л. Фалько // Сборник науч. трудов Sworld. – Вып. 4. Том 15. – Иваново: МАРКОВА АД. 2013 – С. 47–52.

5. Фалько А.Л. Виброцентробежная сепарация на конических ситах с малым углом конусности / А.Л. Фалько // Сборник науч. трудов Sworld. – Вып. 1. Том 3. – Иваново: МАРКОВА АД. 2014 – С. 76–85.

6. Falko, O. Bulk products separations on a stepped screen surface / Falko O. // Food and Tourism / Transilvania Univ. of Brasov. – Brasov, 2014. – Vol. 10, № 1. – P. 32-36.

7. Фалько О.Л. Теоретичне дослідження нового способу вібротранспортування сипких мас / А.Л. Фалько // Сборник науч. трудов Sworld. – Вып. 2. Том 5. – Иваново: МАРКОВА АД. 2014 – С. 56–63.

8. Фалько О.Л. Машина для калібрування зеленого горошку /О. Л. Фалько //Обладнання та технології харчових виробництв: Вип. 5, – Донецьк: ДонДУЕТ, 2001. – С. 49-53.

9. Фалько О.Л. Вібраційна калібрувальна машина зі збудником власних коливань / О.Л. Фалько //Обладнання та технології харчових виробництв: Зб. наук. пр. Вип. 6, – Донецьк: ДонДУЕТ, 2001. – С. 56-60.

10. Фалько Л.Г. Науково-методичний підхід до розробки нового технологічного обладнання при дипломному проектуванні /Л.Г. Фалько, О.Л. Фалько // Вища освіта: Сучасні підходи до формування нового змісту освіти у третьому тисячолітті. Зб. тез. доп. з мет. роботи. – Донецьк: ДонДУЕТ, 2001. – С. 266-267. *(Особистий внесок: викладання теоретичного матеріалу, проведення розрахунків та експериментів).*

11. Фалько О.Л. Проект вібраційної машини калібрування картоплі / О.Л. Фалько, В.А. Переверзев // Зб. доп. за підсумками науково дослідної роботи. Вип.4 – Донецьк: ДонДУЕТ, 2001. –С. 127-128. *(Особистий внесок: викладання теоретичного матеріалу, проведення розрахунків та експериментів).*

12. Фалько О.Л. Обґрунтування конструкції решета вібраційної калібрувальної машини для овочів /О.Л. Фалько //МНК “Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка ”.– Донецьк: ДонДУЕТ, 2001–С. 80-82.

13. Фалько О.Л. Дослідження середньої швидкості вібропереміщення зеленого горошку на решеті віброкалібрувальної машини /О.Л. Фалько, Ю.О. Калмиков // Обладнання та технології харчових виробництв. Зб. наук. пр. Вип. 7, - Донецьк: ДонДУЕТ. – 2002. – С. 359 -365 с. *(Особистий внесок: викладання теоретичного матеріалу).*

14. Фалько О.Л. Вібраційна машина для калібрування картоплі /О.Л. Фалько //Міжнародна наукова конференція “Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка”. –Донецьк: ДонДУЕТ, 2003. –С. 44-49.

15. Фалько О.Л. Установка для калібрування картоплі /О.Л. Фалько // Обладнання та технології харчових виробництв. Вип. 8, -Донецьк: ДонДУЕТ. –

2003. - С. 98-103.

16. Фалько О.Л. Відцентрова калібрувальна машина / О.Л. Фалько // Обладнання та технології харчових виробництв: Вип. 10, – Донецьк : ДонДУЕТ, 2004. – С. 80-89.

17. Фалько О.Л. Експериментальні дослідження зразка відцентрової калібрувальної машини / О.Л. Фалько. // Обладнання та технології харчових виробництв: Вип. 12, – Донецьк : ДонДУЕТ, 2005. – С.88-96.

18. Фалько О.Л. Відцентровий розсів /О.Л. Фалько //Обладнання та технології харчових виробництв: Вип. 13, – Донецьк : ДонДУЕТ, 2005. – С. 79-84.

19. Заплетніков І.М. Універсальна калібрувальна машина / І.М. Заплетніков, О.Л. Фалько, // Обладнання та технології харчових виробництв. Вип. 14, - Донецьк: ДонДУЕТ. – 2006. - С. 41-46. *(Особистий внесок: викладання теоретичного матеріалу, проведення розрахунків та експериментів).*

20. Заплетніков І.М. Обґрунтованість застосування відцентрової сили для сортування плодів овочів і фруктів / І.М. Заплетніков, О.Л. Фалько // Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв. Вип.45, -Харків: ХНТУСГ. -2006. -С.120-125. *(Особистий внесок: викладання теоретичного матеріалу, проведення розрахунків).*

21. Фалько О.Л. Експериментальні дослідження вібропереміщення сипкої харчової сировини по ступінчатому робочому органу, який піддається продовжним коливанням у горизонтальній площині / О.Л. Фалько, А.В. Коваленко // Обладнання та технології харчових виробництв: Вип. 16, – Донецьк : ДонНУЕТ, – 2007. – С. 127-133. *(Особистий внесок: викладання теоретичного матеріалу, проведення розрахунків та експериментів).*

22. Заплетніков І.М. Ситовий циліндричний сепаратор розмелу зерна пшениці / І.М. Заплетніков, О.Л. Фалько // Обладнання та технології харчових виробництв.Т1, Вип. 17, - Донецьк: ДонНУЕТ. – 2007. - С.23-27. *(Особистий внесок: викладання теоретичного матеріалу, проведення експериментів).*

23. Заплетніков І.М. Теоретичні дослідження вібропереміщення сипкої харчової сировини по ступінчатому робочому органу, що коливається у горизонтальній площині / І.М. Заплетніков, О.Л. Фалько, А.В. Коваленко // Обладнання та технології харчових виробництв.Т2, Вип. 17, – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2007. - С.25-32. *(Особистий внесок: викладання теоретичного матеріалу, проведення розрахунків).*

24. Заплетніков І.М. Дослідження руху коренеплодів на решеті калібрувальної машини / І.М. Заплетніков, О.Л. Фалько // Науковий журнал «Харчова промисловість», №5 –Київ.: НУХТ, – 2007.-С.61-65. *(Особистий внесок: викладання теоретичного матеріалу).*

25. Фалько О.Л. Машина для калібрування овочів /О.Л. Фалько // Збірн. наук. праць. №87., серія – тех. наук. – Луганськ.: «ЛНАУ» –2008-С. 375-381.

26. Заплетніков І.М. Теоретичне дослідження нового способу вібро-транспортування харчових мас / І.М. Заплетніков, О.Л. Фалько, А.В. Коваленко, С.О Певцова // Обладнання та технології харчових виробництв. Вип. 18, - Донецьк: ДонНУЕТ. – 2008. - С.179-188. *(Особистий внесок: викладання теоретичного матеріалу).*

27. Заплетніков І.М. Підвищення продуктивності ситових циліндричних класифікаторів / І.М. Заплетніков, О.Л. Фалько // Обладнання та технології харчових виробництв. Вип. 18, - Донецьк: ДонНУЕТ. – 2008. - С.188-193. *(Особистий внесок: викладання теоретичного матеріалу, проведення експериментів).*

28. Фалько О.Л. Визначення ефективної площі сита циліндричних класифікаторів / О.Л. Фалько // Стратегічні напрямки розвитку підприємств харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі: Ч1, – Харків : ХДУХТ, 2008. – С.373-374.
29. Фалько О.Л. Визначення фазових кутів етапів руху для часток продукту на східчастій поверхні деки вібротранспортера / О.Л. Фалько, А.В. Коваленко // Обладнання та технології харчових виробництв. Вип. 20, – Донецьк : ДонНУЕТ, 2009. – С. 65-75. *(Особистий внесок: розробка та викладання теоретичного матеріалу, проведення розрахунків, обробка результатів дослідів)*.
30. Заплетніков І.М. Аналітичне дослідження руху сипкої маси на вібраційному циліндричному ситовому класифікаторі / І.М. Заплетніков, О.Л. Фалько // Обладнання та технології харчових виробництв. Вип. 20, -Донецьк: ДонНУЕТ. – 2009. - С.86-97. *(Особистий внесок: викладання теоретичного матеріалу, проведення розрахунків)*.
31. Фалько О.Л. Дослідження нового способу вібротранспортування сипких харчових мас / О. Л. Фалько, О-ій Л. Фалько, А. В. Коваленко // Рибе господарство України Спец. вип. Морские технологии: проблемы и решения, – Керч : КГМТУ, 2009. – С. 42-45. *(Особистий внесок: викладання теоретичного матеріалу, проведення розрахунків та експериментів)*.
32. Заплетніков І.М. Дослідження кута підйому продукту в обертовому циліндричному ситі під впливом вібрації / І.М. Заплетніков, О.Л. Фалько // Обладнання та технології харчових виробництв. Вип. 22, – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2009. - С.59-66. *(Особистий внесок: викладання теоретичного матеріалу, проведення розрахунків та експериментів)*.
33. Фалько О.Л. Теоретичне визначення оптимальних геометричних параметрів сходинок деки для частинок сипких мас різних розмірів / О.Л. Фалько, А.В. Коваленко // Обладнання та технології харчових виробництв. Вип. 22, – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2009. - С.301-307. *(Особистий внесок: викладання теоретичного матеріалу)*.
34. Фалько О.Л. Аналітичне визначення оптимальних параметрів сходинок робочого органу /О.Л. Фалько, А.В. Коваленко, О.З. Ємел'янов // Праці ТДАУ. Мелітополь. Вип. 10, т. 1. 2010. – С. 107-113. *(Особистий внесок: викладання теоретичного матеріалу, вивід формул)*.
35. Фалько О.Л. Визначення розмірів циліндричних сит, при схемі роботи від великого до дрібного й норм їх завантаженості продуктом / О.Л. Фалько // Обладнання та технології харчових виробництв. Вип. 23, -Донецьк: ДонНУЕТ. – 2010. - С.33-39.
36. Фалько О. Л. Запобігання заклинюванню одиниць сипкої маси продукту в решеті вібраційної калібрувальної машини / О.Л. Фалько // Наукові праці. Вип. 37, -Одеса: ОНАХТ. – 2010. –С. 300-303.
37. Фалько О.Л. Відцентрова сепарація на конічних ситах з малим кутом конусності / О.Л. Фалько // Обладнання та технології харчових виробництв. Зб. наук. пр.Вип. 26, -Донецьк: ДонНУЕТ. – 2011. – С. 136 -149 с.
38. Фалько О.Л. Розміри циліндричних сит сепаратора при схемі роботи від великого до дрібного / О.Л. Фалько, // Наукові праці. Вип. 39, т. 2. - Одеса: ОНАХТ. – 2011. –С. 193-197.
39. Фалько О.Л. Доцільність використання гармонійних коливань робочого органу сепаратора в горизонтальній площині. /О.Л. Фалько, А.В. Коваленко // Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових

- виробництв: Зб. наук. пр. Вип. 119, –Харків: ХНТУСГ им. Петра Василенка. – 2011. С. 161-166. *(Особистий внесок: викладання розрахунків і висновків)*.
40. Заплетніков І.М. Горизонтальні циліндричні сепаратори / І.М. Заплетніков, О.Л. Фалько, А.В. Коваленко // Рибне господарство України Спец. вип. Морские технологии: проблемы и решения, – Керч: КГМТУ, 2012. – С. 25-27. *(Особистий внесок: розробка теорії, проведення експериментів, оформлення)*.
41. Шамота В.П. Вібросепарація сипких харчових сумішей / Шамота В.П., О.Л. Фалько, О-й Л. Фалько, Степанов Д.В. // Рибне господарство України Спец. вип. Морские технологии: проблемы и решения, -Керч: КГМТУ. 7/2013. - С.7-11. *(Особистий внесок: проведення розрахунків та експериментів)*.
42. Патент на корисну модель 23328 Україна, МПК (2006) B07B 13/04. Відцентровий розсіювач / Фалько О. Л., Заплетніков І. М.; заявник і патентовласник Донецький держав. універ. економіки і торгівлі; опубл. 25.05.07, Бюл. № 7. – 6 с. *(Особистий внесок: розробка ідеї, оформлення)*.
43. Патент на корисну модель 24984 Україна, МПК (2006) B07B 13/04. Універсальна калібрувальна машина / Фалько О. Л., Заплетніков І. М.; заявник і патентовласник Донецький держав. універ. економіки і торгівлі; опубл. 25.07.07, Бюл. № 11. – 8 с. *(Особистий внесок: розробка ідеї, оформлення)*.
44. Патент на корисну модель 24985 Україна, МПК (2006) B07B 13/00. Розсійник багатоцільовий циліндровий / Фалько О. Л.; заявник і патентовласник Донецький держав. універ. економіки і торгівлі; опубл. 25.07.07, Бюл. № 11. – 8 с.
45. Патент на корисну модель 26133 Україна, МПК (2006) B65G 27/00. Вібраційний конвеєр для транспортування сипкої харчової сировини / Коваленко А.В., Фалько О.Л., Заплетніков І.М. ; заявник і патентовласник Донецький державн. універ. економіки і торгівлі; опубл. 10.09.07, Бюл. № 14. – 4 с. *(Особистий внесок: розробка ідеї)*.
46. Патент на корисну модель 32738 Україна, МПК (2008) B07B 13/00. Двострумкова калібрувальна машина /Фалько О.Л., Шубін О.О., Заплетніков І.М.; заявник і патентовласник Донецький національний. універ. економіки і торгівлі; опубл. 26.05.08, Бюл. № 10. – 7 с. *(Особистий внесок: проведення експериментів, оформлення)*.
47. Патент на корисну модель 33421 Україна, МПК (2008) B07B 13/00. Універсальний ситовий класифікатор / Фалько О.Л., Заплетніков І.М.; заявник і патентовласник Донецький національний. універ. економіки і торгівлі; опубл. 26.06.08, Бюл. № 12. – 7 с. *(Особистий внесок: розробка ідеї, оформлення)*.
48. Патент на корисну модель 40429 Україна, МПК (2009) B07B 13/04. Універсальна машина калібрування овочів / Фалько О.Л.; заявник і патентовласник Донецький національний. універ. економіки і торгівлі; опубл. 10.04.09, Бюл. № 7. – 6с.
49. Патент на корисну модель 40430 Україна, МПК (2009) B07B 1/12. Вібраційний-класифікатор / Коваленко А.В., Фалько О.Л., Заплетніков І.М. ; заявник і патентовласник Донецький націон. універ. економіки і торгівлі; опубл. 10.04.09, Бюл. № 7. – 4 с. *(Особистий внесок: розробка ідеї, оформлення)*.
50. Патент на корисну модель 40740 Україна, МПК (2009) B07B 13/00. Вібраційний конвеєр для транспортування сипкої харчової сировини з підвищеною вологістю /Коваленко А.В., Фалько О.Л., Заплетніков І.М.; заявник і патентовласник Донецький національний. універ. економіки і торгівлі; опубл. 24.04.09, Бюл. № 8. – 4с. *(Особистий внесок:, оформлення,*

проведення експериментів, створення стенда).

51. Деклараційний патент на винахід 58142А Україна, (2003) В07В 13/04. Машина для калібрування зеленого горошку / Фалько О.Л.; заявник і патентовласник Донецький держав. універ. економіки і торгівлі; 15.07.03. Бюл. №7. – 6 с.
52. Деклараційний патент на винахід 58205А Україна, (2003) В07В 13/04. Установка для калібрування картоплі / Фалько О.Л.; заявник і патентовласник Донецький держав. універ. економіки і торгівлі; 15.07.03. Бюл. №7. – 6 с.
53. Деклараційний патент на винахід 62120А Україна, (2003) В07В 1/40. Вібраційна калібрувальна машина /Фалько Л.Г., Фалько О.Л., Калмиков Ю.О.; заявник і патентовласник Донецький держав. універ. економіки і торгівлі; 15.12.03. Бюл. №12. – 6 с. (*Особистий внесок: розробка ідеї, оформлення*).
54. Деклараційний патент на винахід 68677А Україна, (2004) В07В 9/00. Вібраційний очисник насіння соняшника / Фалько О. Л.; заявник і патентовласник Донецький держав. універ. економіки і торгівлі; 16.08.04. Бюл. №8. – 6 с.
55. Деклараційний патент на винахід 69600А Україна, (2004) В26D 1/00. Вібраційна машина /Фалько О. Л.; заявник і патентовласник Донецький держав. універ. економіки і торгівлі; 15.09.04. Бюл. №9. – 6 с.
56. Деклараційний патент на винахід Україна, (2004) В07В 13/04. Відцентрова калібрувальна машина / Фалько О.Л.; заявник і патентовласник Донецький держав. універ. економіки і торгівлі; опубл. 15.12.04, Бюл. № 12. – 6 с.
57. Патент на винахід 93720 С2 Україна, МПК (2011.01) В02С 23/08. Спосіб розмірної класифікації сипких харчових продуктів / Фалько О.Л.; заявник і патентовласник Донецький держав. універ. економіки і торгівлі; опубл. 10.03.2011, Бюл. № 5. – 10 с.
58. Патент на винахід 96293 С2 Україна, МПК (2011.01) В65G 27/12. Спосіб вібропереміщення сипких харчових мас / Фалько О.Л., Коваленко А.В.; заявник і патентовласник Донецький держав. універ. економіки і торгівлі; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20. – 10 с. (*Особистий внесок: розробка ідеї, стенд*).

АНОТАЦІЯ

Фалько О.Л. Наукові основи процесу фракціонування рослинної сировини. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за фахом за фахом 05.18.12 – процеси й устаткування харчових мікробіологічних і фармацевтичних виробництв. – Донецький національний університет економіки й торгівлі імені Михайла Туган-Барановського Міністерства освіти й науки України, Донецьк, 2014.

Дисертація присвячена вирішенню актуальних проблем підвищення технологічної ефективності, продуктивності, технічного рівня й енергозбереженню при процесах фракціонування рослинної сипучої сировини. У роботі викладене сучасне бачення теоретичних основ сепарації й калібрування в переробній харчовій галузі. На підставі створення нових теорій руху сипкої харчової сировини по робочих органах фракціонуючих машин, отримані математичні закономірності, що дозволяють інтенсифікувати процеси фракціонування за рахунок незначних змін існуючих конструкцій або введення в конструкцію нових елементів. Зміна режимів вібраційного впливу на більшості розглянутих конструкцій сепараторів і калібрувальних машин дає позитивні результати, що поліпшують технічні характеристики обладнання.

У процесі виконання роботи були створені експериментальні стенди фракціонуючого обладнання, які підтвердили ефективність обґрунтованих новацій в області лінійних вібраційних калібрувальних машин, вібросепараторів з горизонтальним напрямком коливань РО, горизонтально розташованих барабанно-ситових класифікаторів, дискових калібрувальних пристроїв, вібровідцентрових сепараторів з конічними ситами.

Розроблений і застосований цілий ряд науково-дослідних методик: методика й пристрій для визначення механічної міцності продукту застряглого в решеті, методика визначення відстані між прутами решета залежно від діаметра прутів, методика визначення геометричних параметрів барабанних сит відповідно до норм завантаженості продуктом, отримана витончена формула для визначення швидкості продукту на диску калібрувальної машини.

За результатами проведених теоретичних і експериментальних досліджень були опубліковані наукові статті, отримані патенти, зроблені впровадження одиничних зразків на переробних підприємствах України.

Ключові слова: віялоподібне розташування, розмірний клас, обмежуюча поверхня, вібропереміщення, режим «з обваленням», кут підйому сипкого продукту, ефективна площа ситової барабанної поверхні, механічна міцність плода, вібровідцентрове переміщення, мала конусність.

АННОТАЦИЯ

Фалько А.Л. Научные основы процесса фракционирования растительного сырья. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых микробиологических и фармацевтических производств. – Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского Министерства образования и науки Украины, Донецк, 2014.

Диссертация посвящена решению актуальных проблем повышения технологической эффективности, производительности, технического уровня и энергосбережению при процессах фракционирования растительного сыпучего сырья. В работе изложено современное видение теоретических основ сепарации и калибровки в перерабатывающей пищевой отрасли. На основании создания новых теорий движения сыпучего пищевого сырья по рабочим органам фракционирующих машин, получены математические закономерности позволяющие интенсифицировать процессы фракционирования за счет незначительных изменений существующих конструкций или введение в конструкцию новых элементов. Изменение режимов вибрационного воздействия на большинстве рассмотренных конструкций сепараторов и калибровочных машин дает положительные результаты, улучшающие технические характеристики оборудования.

Предложена классификация сыпучего пищевого сырья, разделенного на классы, на основе его физико-механических и прочностных свойств, а также методов фракционирования. Определены коэффициенты внешнего трения на перфорированных поверхностях для гороха, гречихи, овса, пшеницы, риса, ржи, фасоли. Предложена методика определения допустимой нагрузки на единицу сырья при жестком заклинивании его в решете калибровочной машины. Научно обоснована целесообразность применения прутьев различной формы в калибровочных решетках. Усовершенствованы методики расчета

трапецеидального, круглого и сегментного решет с г-образными и п-образными прутьями.

Научно обосновано применение ограничительной поверхности, установленной над горизонтальным виброрешетом, как новый метод борьбы с заклиниванием. Разработан новый режим виброперемещения сыпучего сырья, используя циклический контакт с ограничительной поверхностью. Получила дальнейшее развитие теория процесса вибросепарации сыпучего сырья на горизонтальном ступенчатом сите при горизонтальных колебаниях рабочего органа, определены геометрические параметры рабочего органа.

Аналитически доказана возможность противоположно направленного виброперемещения непроходной фракции сыпучего сырья. В результате исследования процесса перемещения сырья по ступенчатой ситовой поверхности подтвержден процесс получения фракций сыпучего сырья за счет противоположно направленного виброперемещения.

Установлено, что воздействие вертикально направленных колебаний изменяет значение угла подъема сегментного слоя сыпучего сырья во вращающемся, горизонтально установленном барабане и увеличивает полезную площадь ситовой поверхности барабана. Впервые установлены характеристики движения слоя сыпучего сырья внутри вращающегося барабана под воздействием вертикальной вибрации, обоснована возможность замены вертикальных колебаний угловыми. Получила дальнейшее развитие направление конструирования многоцелевых барабанных сепараторов, где процесс деления сырья на фракции происходит «от крупного к мелкому», усовершенствована методика определения геометрических параметров барабанных сит, создан экспериментальный образец сепаратора. Экспериментально определены параметры процесса движения сыпучей массы во вращающемся барабане при воздействии механических колебаний.

Установлены допустимые безопасные скорости соударения плодов некоторых культур между собой и с рабочими органами машин. Получили дальнейшее развитие аналитические и экспериментальные исследования виброцентробежной сепарации на коническом сите с малым углом конусности, определены главные параметры процесса.

В процессе выполнения работы были созданы экспериментальные стенды фракционирующего оборудования, которые подтвердили эффективность обоснованных новаций в области линейных вибрационных калибровочных машин, вибросепараторов с горизонтальным направлением колебаний рабочего органа, горизонтально расположенных барабанно-ситовых классификаторов, дисковых калибровочных устройств, виброцентробежных сепараторов с коническими ситами.

По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований были опубликованы научные статьи, получены патенты, сделаны внедрения единичных образцов на перерабатывающих предприятиях Украины.

Ключевые слова: размерный класс, ограничивающая поверхность, виброперемещение, веерообразное расположение, режим «с обрушением», угол подъема сыпучего продукта, эффективная площадь ситовой барабанной поверхности, механическая прочность плода, виброцентробежное перемещение, малая конусность.

SUMMARY

Falko Alexander. The scientific base of fractionation process the vegetative raw materials. - as the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of a Dr.Sci.Tech. on a trade on a trade 05.18.12 - processes and the equipment of food microbiological and pharmaceutical manufactures. - Donetsk national university of economy and trade of a name of Michael of the Tugan-Baranovsky Ministry of Education and Science of Ukraine, Donetsk, 2014.

The dissertation is devoted the solution of actual problems of raise of technological efficiency, productivity, a technological level and power savings at processes of fractionation of vegetative granular raw materials. Modern vision of theoretical bases of separation and gauging in working overtime food branch is in-process stated. On the basis of creation of new theories of traffic of granular food raw materials on tools of fractionating cars, mathematical regularity allowing is gained to intensify processes of fractionation at the expense of minor alterations of existing designs or introduction in a design of new elements. Change of regimes of vibrating affecting on the majority of the observed designs of separators and gauging machines yields the positive results improving technical datas of the equipment.

In the course of work performance experimental stands of the fractionating equipment which confirmed efficiency of well-founded innovations in the field of linear vibrating gauging machines, oscillating separators with a horizontal direction of oscillations of the tool which has been horizontally had drum sieve qualifiers, disk gauging of devices, vibration centrifugal separators with conic a sieve have been created.

By results of spent theoretical and experimental researches scientific articles have been published, patents are gained, headings of individual samples at the working overtime factories of Ukraine are made.

Keywords: the dimensional class, a bounding surface, vibrating moving, a fanlike arrangement, a regime «with a collapse», an angle of lead of a granular product, the effective square a sieve drum-type surface, mechanical strength of a fruit, vibrating centrifugal moving, small conicity.