МАШИНОВИКОРИСТАННЯ У РОСЛИННИЦТВІ ТА ТВАРИННИЦТВІ

УДК 631.363.23

ОСНОВИ ЄВРОПЕЙСЬКИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ КОРМОВИХ БУРЯКІВ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЇХ ПОДРІБНЕННЯ

Мазур Віктор Анатолійович, к.с.-г.н., доцент
Любін Микола Володимирович, к.т.н., доцент
Токарчук Олексій Анатолійович, к.т.н., доцент
Вінницький національний аграрний університет

V. Mazur, PhD, Associate Professor
M. Lyubin, PhD, Associate Professor
O. Tokarchuk, PhD, Associate Professor
Vinnytsia National Agrarian University

За останні роки пройшли великі зміни в технології вирощування та кормової оцінки кормових буряків. Урожайність кормових буряків за останні роки збільшилась вдвічі, енергетична цінність наблизилась до концентрованих кормів.

На рівні з високою врожайністю, кормові буряки дуже поживні та добре перетравлюються, їх добре поїдають тварини і при цьому виробляють багато енергії для розвитку.

Буряківники-селекціонери Баварії вивели сорти та гібриди кормових буряків різних типів, що відповідають вимогам різних районів, враховуючи природно-кліматичні умови, технологію та особливості використання техніки.

Комплексна механізація кормовиробництва надає нові можливості. Разом з хімізацією і сільськогосподарською технікою селекція рослин з розведенням нових сортів та гібридів і розвитком кращих форм насінництва можуть скоротити трудомісткість, витрати і час.

Найбільш енергомістким та, разом з тим, найпоширенішим процесом підготовки кормів до згодовування є подрібнення. Необхідність механізації процесу подрібнення коренеплодів призвела до створення значної частини найрізноманітніших подрібнювачів: від коренерізок з ручним приводом до високопродуктивних машин.

Однак, на сьогоднішній день завдання якісного подрібнення кормів при малій питомій енергоємності подрібнювача залишається до кінця невирішеним, незважаючи на різноманіття конструкцій робочих органів і в цілому машини. Це призводить до того, що енерговитрати на подрібнення складають до 38% загальних енерговитрат на приготування кормів.

Особливістю запропонованої конструкції подрібнювача коренеплодів є наявність ріжучих кромок на поверхні обертових барабанів, які виконані у формі зрізаних конусів, зовнішній барабан основою корпуса розміщений догори, а внутрішній барабан основою корпуса розміщений донизу. Барабани можуть обертатися у різні сторони. На подрібнюючих барабанах виконані вікна та закріплені ріжучі елементи.

Ключові слова: селекція, сорти, коренеплоди, технології, ріжучі елементи, подрібнення, сила різання, потужність.

Ф. 12. Рис. 11. Табл. 2. Літ. 14.

1. Постановка проблеми

У європейській практиці аграрного виробництва очевидний перехід до нових технологій вирощування та оцінки переваг кормових буряків. Споживання коренеплодів у натуральному вигляді практично неможливе, тому їх подрібнюють перед вживанням. Розроблено безліч раціонів, але ефективність їх на основі кормових коренеплодів потребує подальших досліджень[1, 2, 3, 4].

З урахуванням вищезазначеного, вдосконалення технологій вирощування та підготовки коренеплодів для згодовування на основі перспективної конструкції подрібнювача, що поєднує низьку енергоємність та відповідність подрібнення зоотехнічним вимогам є актуальною проблемою.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Поряд із концентрованими кормами сьогодні збільшується попит на інші кормові культури, тому кормові буряки займають провідне місце серед всіх основних кормових культур.

Процес подрібнення коренеплодів потребує великих витрат енергії і до кінця не досліджений, не дивлячись на велику кількість робіт [5, 6, 7, 8].

Якісні показники подрібнення кормів існуючими подрібнювачами часто не відповідають зоотехнічним вимогам, а в більшості випадків спостерігається переподрібнення коренеплодів або безповоротні втрати клітинного соку.

3. Мета дослідження

Мета роботи – розглянути технології вирощування кормових буряків та обґрунтувати оптимальну конструктивно-технологічну схему подрібнювача коренеплодів, яка забезпечить високу якість подрібнення при мінімальних питомих витратах енергії.

4. Виклад основного матеріалу

Протягом останніх років пройшли значні зміни у технології вирощування та оцінці переваг кормових буряків. Урожайність кормових буряків за останні 30 років збільшилася в два рази і на сьогодні складає біля 1 тис. центнерів з гектара, а сумарна енергетична цінність наблизилася до концентрованих кормів.

Кормові буряки сьогодні мають ряд переваг:

- економію концентрованих кормів;
- зниження витрат виробництва;
- покращення якості молока;
- підвищену ціну на продукцію для молоковиробника.

На рівні з високою врожайністю, кормові буряки дуже поживні та добре перетравлюються, їх добре поїдають тварини і при цьому виробляють багато енергії для синтезу молока.

У Німеччині проведені численні дослідження впливу різних видів кормів на продуктивність молочних корів. Результати показали, що значне підвищення білка в молоці можливе за рахунок кормових буряків.

На тих підприємствах європейського регіону, де впроваджено використання кормових буряків, практично в усіх випадках виробництво стає більш економічним і таким чином стає можливим збільшення доходів цих підприємств. Якщо порівняти собівартість енергетичної одиниці при однакових затратах між кормовими буряками та концентрованими кормами, то у випадку використання перших вони наполовину менші.

Після введення правил квоти на молочному ринку Європейським Союзом, виробники молока стоять ще під більшим контролем, ніж раніше, особливо це стосується рентабельності утримання великої рогатої худоби. Тому зниження собівартості кормів має особливе значення, оскільки вони складають 50% – 70% всіх витрат при виробництві молока.

Основне питання полягає в тому, щоб від концентрованого корму перейти до основного корму. Мова йде про те, щоб корми для тварин були в достатній кількості і кращої якості і поставлялися з гарантією з власного господарства.

Європейським Союзом розроблено нову систему оцінки годівлі нетто-енергія-лактація, (НЕЛ) оцінка здійснюється у Мегаджоулях. А у нас на сьогодні оцінюється в кормових одиницях. Нова оцінка кормових засобів має і економічні обґрунтування. Згідно енергетичної оцінки найбільш ефективними є кормові буряки.

У Баварії за останні роки відділами сільського господарства було оцінено і видано більше 31000 кормових раціонів. При цьому було досліджено дію різних видів корму [5, 6].

Результати показали, що кількість загального вмісту білків у молоці підвищується за рахунок буряка. Це відповідає також вмісту жиру в молоці, що, ймовірно, призводить до кращого постачання енергією.

На підставі цього дослідження можна також прийти до висновку, що буряк чинить позитивний вплив на здоров’я корів. Корови забезпечені енергією відповідно до продуктивності.

Якщо зібрати позитивні властивості кормового буряка у молочному тваринництві разом, то кормовий буряк має явну перевагу для сільського господарства, а саме:

- великі досягнення у вирощуванні кормового буряка;
- зниження трудомісткості від посіву до збирання;
- можливість механізації виробництва і кормороздачі і коректна оцінка кормового буряка для годування, встановлена за останній час, що робить кормовий буряк цінним кормом, який кожен сільський господар може вирощувати на власному підприємстві.

У кормовому виробництві Європейським Союзом щорічно завдяки інтенсивній селекційній

роботі відбирають з тисячі одиничних буряків за формою, забарвленням, вагою і вмістом поживних речовин найкращі зразки для подальшого розведення, враховуючи при цьому стійкість до пліснявіння і лежкоздатність. Ця мета зазвичай досягається в рамках гетерозисного методу. При цьому методі розведення з потомства одиничних рослин утворюють лінії, які використовують для подальшої селекційної роботи і які володіють хорошою комбінаційною здатністю і, таким чином, приносять ще більші врожаї. Одним з подальших багатообіцяючих методів є поліплоїдний метод розведення. Перевага поліплоїдного методу, тобто розмноження носіїв спадку, використовується також при розведенні кормового буряка. Порівняно новий багатообіцяючий метод розведення – це гібридний метод. У цьому випадку від двох батьків по цілеспрямованому вибору, які володіють якнайкращими комбінаційними властивостями, за допомогою регульованого запилення отримують гібриди, від яких можна чекати ще більших успіхів при розведенні.

За допомогою цього нового методу розмноження за останніх 20 років було значно підвищено врожайність кормового буряка. Залежно від виду буряка, врожайність складає сьогодні від 900 до 1000 дт/га і більше.

Буряківники-селекціонери Баварії розвели сорти кормового буряка різних районів, враховуючи їх технологію і методи збирання урожаю. При цьому розрізняють три групи:

- буряк з низьким вмістом сухих речовин – 10,0% до 12,5%;
- буряк з високим вмістом сухих речовин від – 12,5 до 15%;
- кормовий цукровий буряк із вмістом сухих речовин від – 15,0 до 18,0%.

Окрім цього, сорти та гібриди буряка розрізняються за кольором: білі, жовті, оранжеві і червоні, і формою: циліндричні, овальні і клиновидні.

Найважливіша мета розмноження полягає в отриманні високого вмісту сухих речовин або відповідних поживних речовин з урахуванням високої перетравності. Подальша мета насінництва – це отримання генетично однорості кового насіння, багато бадилля, резистентність проти пожовтіння, до нематод та інших шкідників.

На даний час в сільському господарстві у розпорядженні кожного методу механізації є відповідні сорти та гібриди. Для звичайного вирощування з ручним корчуванням придатні багатші масою або бідні листям сорти. Для повністю механізованої обробки пропонують сорти та гібриди, що характеризуються якісною посадкою в ґрунті і щільним листям. Ця загальна і інтенсивна програма вирощування забезпечує також в майбутньому рентабельну культивацію кормового буряку.

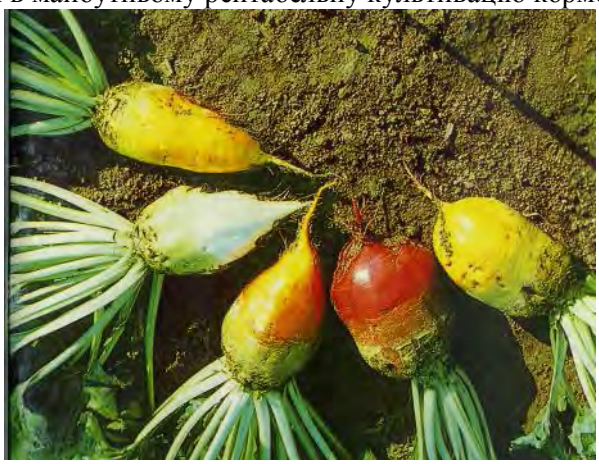


Рис. 1. Основні форми кормових буряків

Комплексна механізація кормовиробництва надає нові можливості. Разом з хімією і сільськогосподарською технікою, селекція рослин з розведенням нових сортів та гібридів і розвитком кращих форм насіння можуть трохи скоротити трудомісткість, витрати і час.

Зараз розрізняють наступні види насіння буряка [3, 9].

1. Природний насіннєвий матеріал. Це натуральна форма насіння, що складається з первинного клубочка з декількома паростками (зазвичай 2-4). Ця форма насіння має один великий недолік: після появи сходів необхідно проводити «проріджування» паростків. Витрата посівного матеріалу дорівнює 12-15 кг/га. Висів проводиться звичайними рядовими сівалками.

2. Прецизійний посівний матеріал, що калібрується (технічно односім'яний посівний матеріал) він виготовляється технічною обробкою, тобто шляхом механічного розщеплення

насінного клубка з натурального посівного матеріалу. Мінімальні вимоги, що пред'являються за законом обороту насіннєвого матеріалу для всіх сортів: односім'янність 70% при 73% здатності до проростання насіння. Калібрування насіння проводиться в межах 3,25-4,75 мм.

Посів виконується сівалками точного висіву. Завдяки прецизійному посівному матеріалу в полі досягається рівномірно розпушена популяція буряка з високою долею одиничних рослин. Порівняно легко коригувати відстань між рослинами довгою мотикою.

Економія праці при догляді в порівнянні з «природним посівним матеріалом» складає біля 40-60%. Це залежить від ступеня засміченості ґрунту, від польової схожості насіння і від відстані між рослинами. Щоб не допустити ризик при вирощуванні (наприклад, унаслідок плішин у складі рослинності), відстань укладання не повинна перевищувати 6 см. Витрати посівного матеріалу цієї форми залежно від відстані в рядках і між рядами складає 5-5,7 кг/га

Таблиця 1

Види посівного матеріалу

Норма посівного матеріалу	min здібність до проростання насіння, %	min односім'янність, %
Природний посівний матеріал, багато сім'яний	73	не потрібний
Прецизійний посівний матеріал, що калібрується	73	70
Прецизійний посівний матеріал, дражированый	73	70
Одноростковий посівний матеріал, дражированый	73	90

3. Прецизійний дражированый посівний матеріал. Цей посівний матеріал є поліпшенням посівного матеріалу, що калібрується, оскільки після процесу розщеплювання, просіяні і однакові за розміром частини клубків покриваються спеціальною оболонкою, до складу якої заздалегідь вводяться точно дозовані протравлювачі протиураження грибом, засоби захисту рослин від шкідників та поживні речовини. Крім того, завдяки кращому розщеплюванню забезпечується вищий ступінь одноростковості і кращі властивості посівного матеріалу.

Це дозволяє збільшити ширину відстані між насінням до 8 см. Ще більші відстані не рекомендують, оскільки внаслідок не рівномірної схожості, слід зважати на знижений урожай. Гредінг (поліпшення породи шляхом схрещування) дорівнює 3,50 – 4,75 мм. Витрати посівного матеріалу, залежно від відстані між рядами і міжряддями, знаходяться в межах від 5 до 8 «половинних одиниць» на гектар (1/2 одиниці = 50 000 шт. дражированого посівного матеріалу).

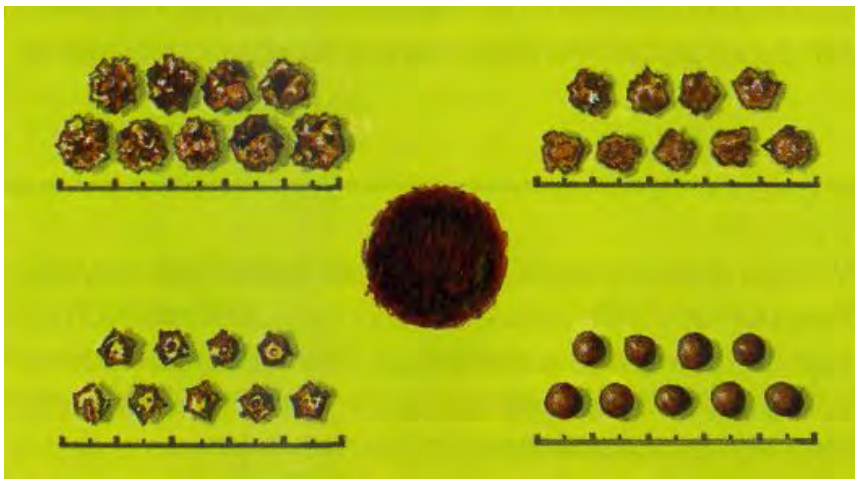


Рис. 2. Форми посівного матеріалу кормового буряка

4. Одноростковий посівний матеріал (генетично одноростковий посівний матеріал). Це отримана шляхом селекційної роботи краща форма насіння створює всі передумови для розведення без проріджування. Генетично обумовлена одноростковість (понад 90%) і найкраща

польова схожість моногермового насіння створює можливість збільшити відстань між рослинами до 12 – 18 см, внаслідок чого проріджування стає зайвим.

Таблиця 2

Витрати посівного матеріалу на гектар в (1/2-х одиницях=50000 шт.)

Відстань між рядами / Відстань в ряду	45 см	50 см
10 см	4,4	4,0
12 см	3,7	3,3
14 см	3,2	2,9
16 см	2,8	2,5
18 см	2,5	2,2

У порівнянні з дражированим прецизійним посівним матеріалом, тут застосовують тільки приблизно половину посівного матеріалу і, не дивлячись на це, отримують оптимальну кількість рослин на одиницю посівної площі. Висів проводиться сівалками точного висіву. Витрати посівного матеріалу залежно від ширини укладання і міжряддями 2,5-4 «половинних одиниць» на гектар представлено у таблиці 2.

Збирання врожаю кормового буряка при врожайності близько 1000 дт/га ручним способом є важким і таким, що вимагає великих затрат часу. Для скорочення цього непосильно високого навантаження є багато механізованих методів:

- комбайни для збирання цукрового буряку;
- датський метод з роторною косаркою-подрібнювачем і бурякокопачем-навантажувачем;
- комбайн для прибирання кормового буряка за принципом обмолочувального колеса.

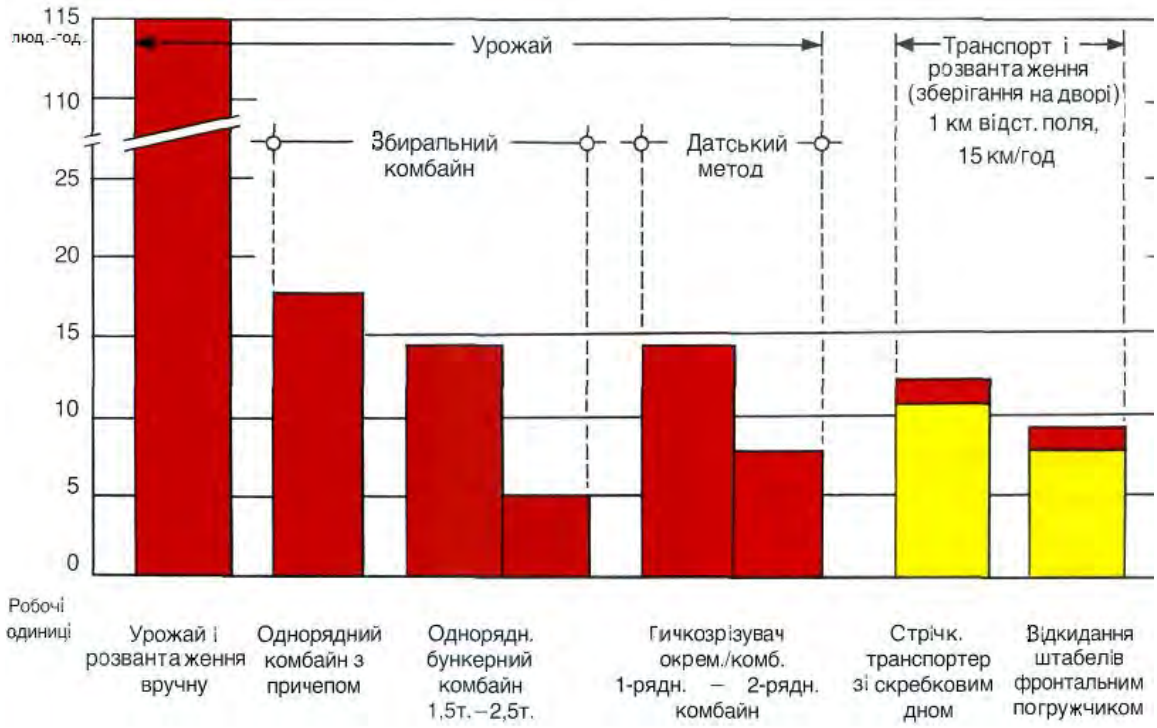


Рис. 3. Трудомісткість (люд.-год./га) для різних методів збирання врожаю кормових буряків (1000 децитонн/га, довжина поля 250 м, відстань між рядами 0,5) **[9]**

З підвищеним обробітком буряка з високим вмістом крохмалю, або кормового цукрового буряку, перевагу слід віддати подрібненню, оскільки воно допускає точніше дозування. Перевагу має чистий буряк, тому шинкувальний механізм оснащений очисними елементами. Комбіновані очисні і ріжучі елементи різної конструкції з пропускною спроможністю між 60 і 150 дт/год. коштують 2000 – 3000 євро [9].

Найбільш енергомістким і, разом з тим, поширеним є процес підготовки кормів до згодовування – подрібнення.

Необхідність механізації процесу подрібнення коренеплодів призвела до створення великого числа найрізноманітніших подрібнювачів: від коренерізок з ручним приводом до сучасних високопродуктивних машин. Велика розмаїтість цих пристроїв пояснюється зональними особливостями кормів, різними зоотехнічними вимогами до процесу подрібнення для різних видів тварин, а також пошуками ефективних і раціональних конструкцій подрібнювачів.

Однак, на сьогоднішній день завдання якісного подрібнення кормів при малій питомій енергоємності подрібнювачів залишається до кінця не вирішеним, незважаючи на різноманіття конструкцій робочих органів і в цілому машин, призначених для переробки кормових матеріалів [9, 14]. Це призводить до того, що енерговитрати на подрібнення складають до 38% від сукупних енерговитрат на приготування кормів.

Вперше промисловий випуск подрібнювачів коренеплодів освоїли німецькі фірми «Лобенсверт» і «Фрікс» в кінці XIX століття. Це були машини з циліндричними навісними барабанами (рис. 4). Матеріал, що подрібнюється транспортером (1) подається до робочого органу, який представляє собою барабан (2), на поверхні якого по контуру кріпляться плоскі або совковоподібні ножі (3). Подрібнений корм викидається через вивантажувальну горловину (4).

Для інтенсифікації процесу подрібнення кормів в коренерізках фірми «Лобенсверт» був використаний апарат, що подрібнює продукцію поздовжньо-поперечним різанням, що відрізняється від інших моделей послідовним розміщенням на робочому органі ріжучих елементів, розташованих по контуру поверхні.

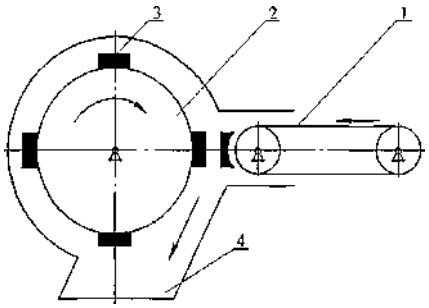


Рис. 4. Схема барабанного подрібнювального апарата:
1 – транспортер; 2 – барабан; 3 – ніж; 4 – вивантажувальна горловина

Барабанно-конусні робочі органи застосовувалися в подрібнювачах фірм «Пемаг» і «Мюллер», а також у вітчизняному подрібнювачі РКР-1,5 (рис. 5).

Ріжучі елементи у вигляді плоских або совковоподібних ножів (1) розміщались по конусній поверхні барабана (2). В ході технологічного процесу стружка, що відокремлюється, проходить в паз між кромкою ножа і поверхнею барабана на похилу поверхню, розташовану всередині барабана, по якій стікає в лоток (3). Різна ступінь подрібнення в машинах фірм «Акра» і «Пемаг» досягалася застосуванням двох конусних барабанів, які могли працювати по паралельному і послідовному циклу.

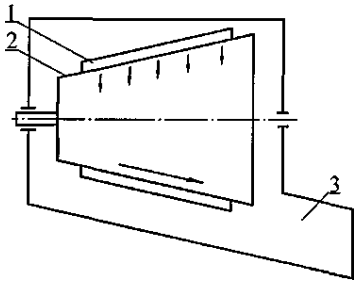


Рис. 5. Схема барабанно-конусного робочого органу:
1 – ніж; 2 – барабан; 3 – лоток

Удосконалена конструкція барабанно-конусного подрібнювача коренеплодів запропонована С.В. Кравчуком [13]. Подрібнення кормів робочим органом здійснюється наступним чином (рис. 6).

На барабан, що обертається 1, з бункера подаються коренеплоди, які під впливом ріжучих виступів 2 подрібнюються. Подрібнений продукт, пройшовши через вікна 3, викидається всередину

теркового барабана. За рахунок нахилу в нижній частині останнього, відбувається автоматичне видалення подрібненого продукту через відкриту основу 4 назовні. Завдяки розташуванню рядів ріжучих виступів під кутом 70-80° до осі обертання, терковим барабаном здійснюється переміщення коренеплодів уздовж твірної останнього, що інтенсифікує процес подрібнення.

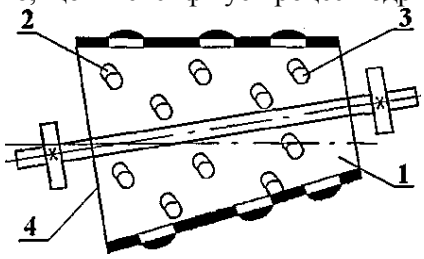


Рис. 6. Схема барабанно-конусного робочого органу:
1 – барабан; 2 – ріжучий виступ; 3 – вікно; 4 – основа

Досить широко поширені подрібнювачі коренеплодів з дисковими робочими органами, які за розташуванням диска діляться на горизонтальні і вертикальні. У таких машинах плоскі або совкоподібні ножі встановлені в пазах диску.

У вертикально-дискових подрібнювачах (рис. 7) коренеплоди з бункера до робочого органу надходять самопливом. У міру відділення стружки ножами вона проходить в прорізи диска і надходить на лоток.

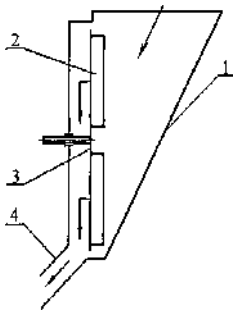


Рис. 7. Схема вертикально-дискового подрібнювального апарата:
1 – бункер, 2 – ніж; 3 – диск; 4 – лоток

За цим принципом працюють подрібнювачі вітчизняного виробництва РКР-2 і машини німецьких фірм «Ескорт» і «Лінгарт» [14].

Ступінь подрібнення регулюється за рахунок зміни зазорів між різальною кромкою і поверхнею диска і знаходиться в межах 5...10 мм.

Робочі органи горизонтально-дискових апаратів, що подрібнюють сільськогосподарську продукцію (рис. 8), складаються з одного або декількох дисків 1, в пазах яких розміщені ріжучі елементи у вигляді плоских, совковоподібних або гребінчастих ножів 2. Для інтенсифікації процесу подрібнення застосовують другий диск з вертикально встановленими ножами 3. За таким принципом подрібнення працюють машини КПИ-4, ИКМ-5, ИКМ-Ф-10. В ході технологічного процесу коренеплоди горизонтальними ножами подрібнюються в стружку, а за рахунок вертикальних ножів і протиріжучої деки відбувається доподрібнення.

Подібні робочі органи знайшли застосування в подрібнювачах Е-120, КПСК-1000, «Бавария», «Бик-МКС», «Тритшер», «Крамер», «Лоу» [14].

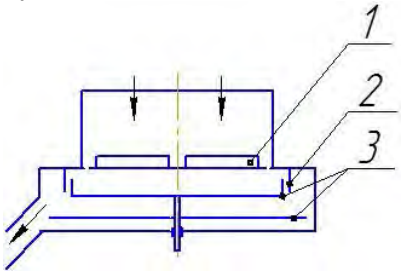


Рис. 8. Схема горизонтально-дискового робочого органу:
1 – ніж; 2 – дека; 3 – диски

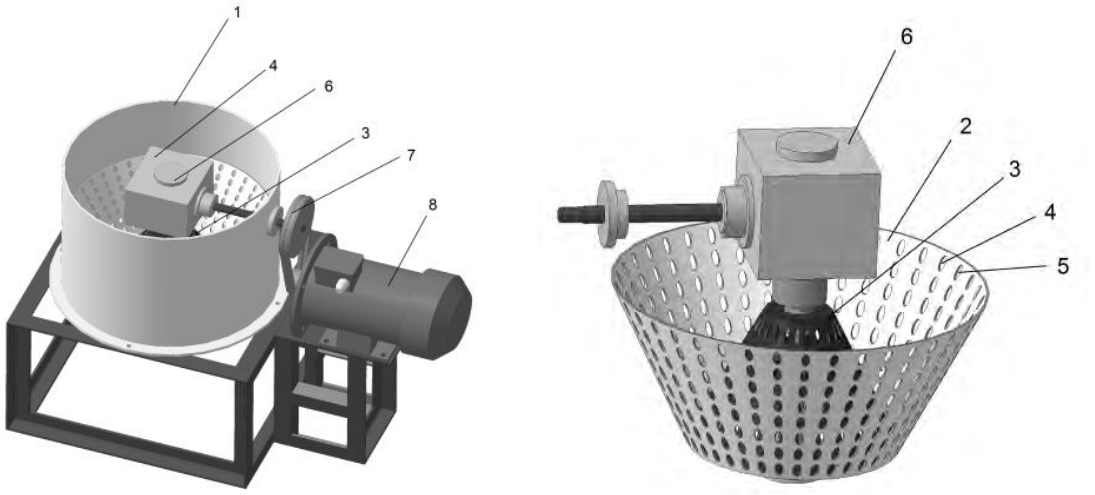
В результаті проведення патентного пошуку та аналізу відомих технічних рішень для подрібнення коренеплодів була запропонована конструктивно-технологічна схема подрібнювача рис. 9 [10].

Подрібнювач складається (рис. 9) з корпуса 1, в якому розміщені два подрібнюючих барабани, які виконані у формі зрізаних конусів, зовнішній барабан 2 основою корпуса розміщений догори, а внутрішній барабан 3 основою корпуса розміщений донизу, барабани 2 і 3 обертаються в різні сторони. На подрібнюючих барабанах виконані вікна 4 та ріжучі елементи 5, які розміщені у шаховому порядку по гвинтовій лінії. Привід ріжучих барабанів здійснюється через двосторонній конічний редуктор 6, привод якого здійснюється через пасову передачу 7 від електродвигуна 8.

Працює подрібнювач наступним чином. Коренеплоди завантажуються у верхню конічну частину зовнішнього барабана 2, там вантаж під дією гравітаційних сил подається у кільцеву V-подібну робочу зону між зовнішнім 2 та внутрішнім 3 різучим барабаном.

При включенні електродвигуна 8 через пасову передачу крутний момент передається на конічний редуктор 6, за рахунок редуктора та двох конічних коліс ріжучі барабани обертаються в різні сторони. Коренеплоди, які знаходяться в кільцевій V-подібній робочій зоні починають інтенсивно подрібнюватися за рахунок ріжучих кромок 5. Ріжучі кромки не тільки здійснюють процес подрібнення, а й процес переміщення коренеплодів у нижню частину V- подібної зони за рахунок відцентрової сили та гвинтового розміщення ріжучих кромок на зовнішньому барабані.

Корпус 1 подрібнювача та електродвигун змонтовані на опорній зварній рамі. Для проведення експериментальних досліджень пристрій необхідно укомплектувати різними діаметрами шківів та ріжучих барабанів.



а) б)

Рис. 9. Схема подрібнювача виконана у 3D: а) загальний вигляд; б) привод ріжучих робочих елементів (конусів)

На основі проведеного аналізу конструкцій подрібнювачів коренеплодів можна зробити висновок, що кращу якість приготовленого корму при малій енергоємності забезпечують подрібнювачі, що працюють за принципом різання. Тому, в якості руйнуючих елементів приймаємо ножі напівкруглої форми, величина вигину різального краю якого дорівнює необхідній товщині різання. Вибір напівкруглої форми пояснюється двома аспектами.

1. Ніж напівкруглої форми вирізає з кормового матеріалу стружку максимальної площі поперечного перерізу при мінімальній довжині ріжучої кромки. Це забезпечує високу продуктивність при малій енергоємності, оскільки сила різання прямо пропорційна довжині леза:

$$P_{\text{рез}} = f(\Delta l); \quad (1)$$

2. Мінімальною концентрацією напруг на робочій поверхні барабана і, відповідно, довговічністю робочого органа.

Вибрані ріжучі елементи необхідно найбільш раціонально розмістити на робочій поверхні барабана. Вірне розміщення ножів повинно забезпечити рівномірну дію робочого органу на подрібнюваний кормовий матеріал, сталість частоти обертання барабана і найменшу його непрохідність подрібненим матеріалом.

Для виконання цих умов розташовуємо ріжучі елементи на робочій поверхні барабана по розгортці багатоходового гвинта. Раціональність такої форми обумовлюється ще однією додатковою вимогою: кожен ріжучий елемент залишає на подрібненому кормові свій крок. Випадки, коли два або більше ножі йдуть по одному кроку, повторюються лише через певний кут повороту барабана.

В результаті пошукових дослідів було визначено мінімально допустимі значення параметрів l і b для великої рогатої худоби l_{min} = 28 мм b_{min} = 27 мм (при α = 25°). Проте, при мінімальних значеннях l і b розміщення ріжучих елементів може виявитися відмінним від оптимального через зайве перекриття. Тому програмою експериментальних досліджень передбачалося проведення лабораторних дослідів при різних кутах розташування ріжучих елементів (при цьому відповідно змінювався параметр b). Проте, відстань між ріжучими елементами вздовж розгортки гвинта – параметр l – у всіх випадках прийнята рівною l_{min}.

При цьому кут χ повинен бути $\leq (\varphi_1 + \varphi_2)$, де φ_1 – кут тертя між поверхнею барабана і коренеплоду, а φ_2 – кут тертя між поверхнею коренеплоду і бункером подрібнювача. Отже, умова надійного затискання коренеплодів в подрібнювачі буде виражена таким чином:

$$\chi = \arccos\frac{H-R}{R+r} \leq \varphi_1 + \varphi_2. \quad (2)$$

Отже, кут затискання залежить від радіусів барабана на коренеплоду і відстані від осі барабана до бункера подрібнювача.

Розглянемо особливості руху подрібнюваного матеріалу по поверхні барабана подрібнювача.

Частинка матеріалу, що спирається на поверхню барабана і притиснута з іншого боку до стінки бункера запропонованого нами подрібнювача коренеплодів, рухається аналогічно руху частинки в гвинтовому транспортері, оскільки ріжучі елементи подрібнювача розташовані на поверхні барабана по гвинтовій лінії (рис. 10), а конструкція завантажувального бункера в поперечному перетині має форму спіралі.

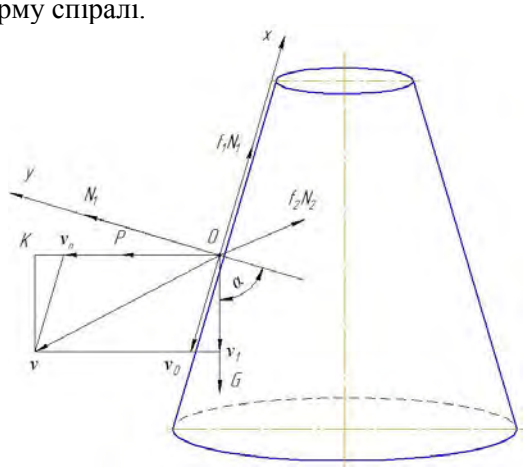


Рис. 10. Схема сил та швидкостей які діють на матеріальну точку, на подрібнюючому барабані

При попаданні в бункер коренеплід здійснює обертально-поступальний рух по поверхнях барабана і бункера подрібнювача, поступово опускаючись вниз. Отже, рух частинки коренеплоду уздовж поверхні барабана можна описати наступними диференціальними рівняннями:

$$\begin{cases} N_1\cos\alpha + f_1N_1\sin\alpha - ma\dfrac{d^2\varphi}{dt} - G - f_2N_2\sin\beta = 0; \\ G\sin\varepsilon + f_2N_2\cos\beta + f_1N_1\cos\alpha - N_1\sin\alpha - mr\dfrac{d^2\varphi}{dt} = 0; \\ mr\omega_0^2 + mr\left(\dfrac{d\varphi}{dt}\right) - N_2 - 2mr\omega_0\dfrac{d\varphi}{dt} = 0, \end{cases} \quad (3)$$

де N_1 – нормальний тиск на поверхню барабана;

f_1 – коефіцієнт тертя коренеплоду об поверхню барабана;

α = arctg $S/(2\pi r)$ – кут підйому гвинтової лінії, що умовно проходить по виступах ріжучих елементів подрібнювача, град;

S – крок гвинтової лінії, м;

r – радіус барабана подрібнювача, м;

$m = G/g$ – маса елементу матеріалу, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с ;

G – вага матеріалу, Н;

N_2 – нормальна реакція бункера, Н;

f_2 – коефіцієнт тертя коренеплоду о стінку бункера;

β – кут між векторами переносної vn і абсолютною va швидкостей (кутовий параметр), град;

$a = rtg\alpha$ – параметр подрібнювача;

$\sin\beta = \frac{a}{v}\cdot\frac{d\varphi}{dt}$ i $\cos\beta = \frac{r}{v}\left(\omega_0 - \frac{d\varphi}{dt}\right)$ – тригонометричні функції параметра;

$\varphi = f(t)$ – кут, на який відхиляється частинка коренеплоду при обертанні барабана з постійною кутовою швидкістю ω_0, $с^{-1}$;

t – час, с;

$\frac{d\varphi}{dt} = \omega'$ – кутова швидкість відносного руху матеріальної точки;

$\varepsilon = \psi \pm \varphi$ – кут, що визначає положення точки щодо вертикальної площини;

$\psi = \omega_0 t$ – кут повороту барабана за час t, с;

$mr\frac{d^2\varphi}{dt^2}$ – дотична сила інерції, Н;

$mr\omega_0^2$ – відцентрова сила інерції в переносному русі, Н;

$mr\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2$ – відцентрова сила інерції у відносному русі, Н;

$F_k = 2m\omega_0 r\frac{d\varphi}{dt}$ – сила Коріоліса, Н;

$ma\frac{d^2\varphi}{dt^2}$ – аксіальна сила інерції, Н.

Положення матеріальної точки a на поверхні барабана подрібнювача коренеплодів, коли вона рухається по ній, залишаючись притиснутою до стінки кожуха, визначається відносними координатами

$$x = r\cos\varphi,\ y = r\sin\varphi,\ z = a\varphi \tag{4}$$

Обчислення, засновані на методах Ейлера, Рунге-Кутта, Адамса, А. Крилова із застосуванням ЕОМ показують, що період несталого руху в запропонованому подрібнювачі є короткочасним. Вже після закінчення декількох секунд або доль секунд рух стає стійким, з постійними значеннями середньої осьової швидкості $v_{1ср}$ і абсолютній кутовій швидкості ω обертального руху.

Система (3) при $\frac{d\varphi}{dt} = const, \frac{d^2\varphi}{dt^2} = 0, m = 0, G = mg = 1g = g$ приймає вигляд:

$$\begin{cases} N_1\cos\alpha + f_1N_1\sin\alpha - f_2N_2\sin\beta - g = 0; \\ f_2N_2\cos\beta + f_1N_1\cos\alpha - N_1\sin\alpha = 0. \end{cases} \tag{5}$$

У системі рівнянь (5) реакції N_1 і N_2 можна визначити за наступними формулами:

$$N_1 = \frac{g\cos\beta}{f_2\sin(\alpha+\beta) - \cos(\alpha+\beta)}; \tag{6}$$

$$N_2 = \frac{g\cos\beta(\cos\alpha - f_1\sin\alpha)}{f_2\sin\beta[f_1\sin\beta(\alpha+\beta) - \cos(\alpha+\beta)]} - \frac{g}{f_2\sin\beta}. \tag{7}$$

З третього рівняння системи (3) при підстановці:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{v\sin\beta}{a} = \frac{\omega_0\cos\alpha\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}, \tag{8}$$

витікає, що:

$$\frac{f_2r\omega_0^2\sin^2\alpha\cos^2\beta[\cos\beta - \sin\beta tg(\alpha+\varphi_1)]}{g\sin^2(\alpha+\beta)tg(\alpha+\varphi_1)} = 1. \tag{9}$$

Вираз (9) – рівняння з кутовим параметром для подрібнювача коренеплодів з вертикально розташованим барабаном, на якому ріжучі елементи розташовані по гвинтовій лінії. Звідси можна визначити критичний радіус, який встановлює межі ділянки, де частинки матеріалу набувають кутової швидкості барабана ω_0 і їх осьовий зсув припиняється.

З рівняння (9), після заміни $\beta = 0$ слідує:

$$\frac{f_2\left(\omega_0^2 r + g\cos\delta\cos\varepsilon\right)}{g\left[\sin\delta tg\left(\alpha+\varphi_1\right)-\cos\delta\sin\varepsilon\right]}=1, \quad (10)$$

де δ – кут нахилу осі барабана до горизонту.

З рівняння (10), приймаючи δ = 90°, при будь-якому ω_0 маємо:

$$r_{кр}=\frac{g\cdot\sin\delta\ tg\left(\alpha+\varphi_1\right)}{f_2\omega_0^2}. \quad (11)$$

Останній вираз встановлює залежність критичного радіусу від кутової швидкості барабана подрібнювача.

У процесі пошукових дослідів були отримані необхідні дані для складання математичної моделі процесу подрібнення коренеплодів з вертикально розташованим ріжучим барабаном.

Після обробки результатів отримали рівняння регресії:

$$y = 1.55935+0.00036\ x_1^2-0.02445\ x_1-0.00084\ x_2\ x_1-0.11361\ x_2+0.00948\ x_2^2 \quad (12)$$

де y – питомі затрати енергії, кВт·год/т;

x_1 – кут розміщення ріжучих елементів, град;

x_2 – швидкість подрібнення, м/с.

Графічне зображення поверхні відгуку наведено на рис. 11.

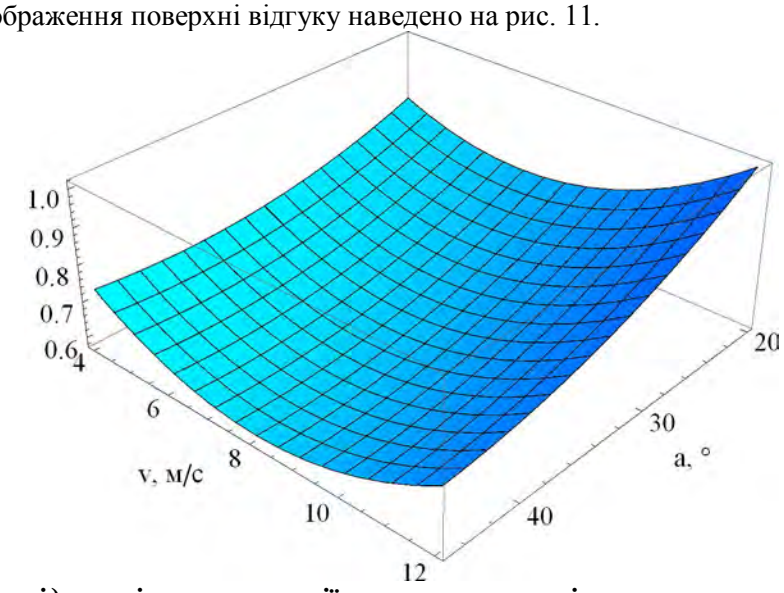


Рис. 11. Поверхня відгуку рівняння регресії впливу параметрів на питому енергомісткість для запропонованого подрібнювача

4. Висновки

1. Комплексна механізація кормовиробництва разом з хімізацією і селекцією рослин з розведенням нових сортів та гібридів надає нові шанси досягти врожаю кормових буряків на рівні 1000 дт/га.

2. Найбільш енергомістким процесом кормовиробництва є процес подрібнення коренеплодів.

3. Отримані теоретичні закономірності, що дозволяють розрахувати основні конструктивні параметри і режими роботи запропонованого подрібнювача коренеплодів.

4. У процесі пошукових дослідів було отримано необхідні дані для складання математичної моделі процесу різання коренеплодів з вертикально розташованим подрібнюючим барабаном.

5. Відповідно до поверхні відгуку від взаємодії швидкості різання і кута розташування ріжучих елементів на питому енергомісткість маємо мінімум y = 0.58 кВт·год/т в області експерименту при швидкості v = 7.90 м/с та куті ріжучих елементів a = 43.1°.

Список використаних джерел

1. Калетнік Г.М. Енергоощадні технології кормів – основа конкурентоздатності тваринництва: Монографія / Г.М. Калетнік, М.Ф. Кулик, Я.Т. Глушко та інші – Вінниця: Теза. 2006. – 340 с.
2. Тарасов А.Н. Кормовые корнеплоды. / А.Н. Тарасов, А.Г. Шмакова. – М.: Колос, 1991. – 156 с.
3. Киреев В.Н. Прогрессивная технология выращивания кормовых корнеплодов / В.Н. Киреев. – В сб. «Новое в кормопроизводстве» – М.: Московский рабочий. – 1984. – С. 63-76.
4. Gfrörer «Practyczna produkccja mleka».– Zeszyt, 2012. – №1.
5. Jürgensen «Practyczna produkccja mleka».– Zeszyt, 2015. – №4.
6. Parzonko A. Globalne i lokalne uwarunko-wania rozwoju produkcji mleka. Rozpr. Monogr.– SGGW, Warszawa, 2013.– ss. 216.
7. Токарчук О.А. Теоретичні основи та особливості процесу різання коренеплодів у фермерських господарствах / О.А. Токарчук // Техніка, енергетика, транспорт АПК – 2017 – Вип. 4(99). – С.84-91.
8. Гевко Б. Исследование технологических процесов измельчения коренеплодов / Б. Гевко, Р. Чвартацкий, И. Чвартацкий, С. Билык // *MOTROL*. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture Lublin – Rzeszów – 2016. - Vol.18, No.8. – ss. 105-111.
9. Корбут Л.А. Сельскохозяйственные машины и орудия Германии / Л.А. Корбут, С.В. Чуенков– Берлин, 1997. – С. 612-619.
10. Пат. 15948 Україна, МПК A01 F29/02, D02 C18/14. Подрібнювач кормів / М.В. Любін, В.С.Павленко, Б.Ф. Ліщинський, С.В. Куницкий 4942730/SU бюл.№3, від 30.06.1997р.
11. Фабричникова И. Разработка и внедрение комплексного способа упрочнения свеклорезных ножей для срезания стружки / И. Фабричникова, В. Коломиец // MOTROL. – Lublin-Rzeszow. – 2013. – Vol. 15, No7. – ss. 234-241.
12. Кухта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов. / Г.М. Кухта. – М.: Агропромиздат, 1987. – 303 с.
13. Кукта Г.М.Выбор измельчителей корнеплодов / Г.М. Кукта, В.С. Бойко // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – № 2. – С. 28-32.
14. Машины и оборудование зарубежных стран по механизации работ в животноводстве. – УКРНИИНТИ, Киев, 1991. – 272 с.

References

[1] Kaletnik H.M. Enerhooshchadni tekhnolohii kormiv – osnova konkurentozdatnosti tvarynnytstva: Monohrafiia / H.M. Kaletnik, M.F. Kulyk, Ya.T. Hlushko ta inshi – Vinnytsia: Teza. 2006. – 340 s.
[2] Tarasov A.N. Kormovue korneplodu. / A.N. Tarasov, A.H. Shmakova. – M.: Kolos, 1991.–156 s.
[3] Kyreev V.N. Prohressyvnaia tekhnolohyia vurashchyvanyia kormovukh korneplodov / V.N. Kyreev. – V sb. «Novoe v kormoproyzvodstve» – M.: Moskovskyi rabo¬chyi. – 1984. – S. 63-76.
[4] Gfrörer «Practyczna produkccja mleka».– Zeszyt, 2012. – #1.
[5] Jürgensen «Practyczna produkccja mleka».– Zeszyt, 2015. – #4.
[6] Parzonko A. Globalne i lokalne uwarunko-wania rozwoju produkcji mleka. Rozpr. Monogr.– SGGW, Warszawa, 2013.– ss. 216.
[7] Tokarchuk O.A. Teoretychni osnovy ta osoblyvosti protsesu rizannia koreneplodiv u fermerskykh hospodarstvakh / O.A. Tokarchuk // Tekhnika, enerhetyka, transport APK – 2017 – Vyp. 4(99). – S.84-91.
[8] Hevko B. Yssledovanye tekhnolohycheskykh protsesov yzmelchenyia koreneplodov / B. Hevko, R. Chvartatskyi, Y.Chvartatskyi, S. Byluk // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture LUBLIN – RZESZÓW– 2016. Vol.18. No.8. 105-111.
[9] Korbut L.A. Selskokhoziaistvennue mashynu y orudyia Hermanyy / L.A. Korbut, S.V. Chuenkov. – Berlyn, 1997. – S. 612-619.
[10] Pat. 15948 Ukraina, MPK A01 F29/02, D02 C18/14. Podribniuvach kormiv / M.V. Liubin, V.S.Pavlenko, B.F. Lishchynskyi, S.V. Kunytskyi 4942730/SU biul.#3, vid 30.06.1997r.
[11] Fabrychnykova Y. Razrabotka y vnedrenye kompleksnoho sposoba uprochnenyia svekloreznukh nozhei dlia srezanyia struzhky / Y. Fabrychnykova, V. Kolomyets // MOTROL. – Lublin-Rzeszow. – 2013. – Vol. 15, No7. – ss. 234-241.
[12] Kukhta H.M. Mashynu y oborudovanye dlia pryhotovlenyia kormov. / H.M. Kukhta. – M.: Ahropromyzdat, 1987. – 303 s.
[13] Kukta H.M. Vubor yzmelchytelei korneplodov / H.M. Kukta, B.C. Boiko // Tekhnyka v selskom khoziaistve. – 2008. – # 2. – S. 28-32.
[14] Mashynu y oborudovanye zarubezhnukh stran po mekhanyzatsyy rabot v zhyvotnovodstve. – UKRNYYNTY, Kyev, 1991. – 272 s.

ОСНОВЫ ЕВРОПЕЙСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ КОРМОВОЙ СВЕКЛЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЕЁ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

В последние годы прошли большие изменения в технологии выращивания и кормовой оценки кормовой свеклы. Урожайность кормовой свеклы за последние годы увеличилась вдвое, энергетическая ценность подошла к концентрированных кормов.

Наравне с высокой урожайностью, кормовая свекла очень питательна и хорошо переваривается, её хорошо поедают животные и при этом производят много энергии для развития.

Свекловоды-селекционеры Баварии вывели сорта и гибриды кормовой свеклы различных типов, отвечающих требованиям различных районов, учитывая природно-климатические условия, технологию и особенности использования техники.

Комплексная механизация кормопроизводства предоставляет новые возможности. Вместе с химизацией и сельскохозяйственной техникой селекция растений с разведением новых сортов и гибридов и развитием лучших форм семеноводства, могут сократить трудоемкость, затраты и время.

Наиболее энергоемким и, вместе с тем, самым распространенным процессом подготовки кормов к скармливанию является измельчение. Необходимость механизации процесса измельчения корнеплодов привела к созданию большого числа самых измельчителей от корнерезок с ручным приводом до высокопроизводительных машин.

Однако, на сегодняшний день задача качественного измельчения кормов при малой удельной энергоемкости измельчителя остается до конца нерешенным, несмотря на многообразие конструкций рабочих органов и в целом машины. Это приводит к тому, что энергозатраты на дробление составляют до 38% общих энергозатрат на приготовление кормов.

Особенностью предложенной конструкции измельчителя корнеплодов является наличие режущих кромок на поверхности вращающихся барабанов, которые выполнены в форме срезанных конусов, внешний барабан основой корпуса размещен вверх, а внутренний барабан основой корпуса размещен вниз. Барабаны могут вращаться в разные стороны. На измельчающих барабанах выполнены окна и закреплены режущие элементы.

Ключевые слова: селекция, сорта, корнеплоды, технологии, режущие элементы, измельчения, сила резания, мощность.

Ф. 12. Рис. 11. Табл. 2. Лит. 14.

BASES OF EUROPEAN TECHNOLOGIES OF GROWING OF FODDER BEET AND RESEARCH OF PROCESS OF THEIR GRINDING

There have been major changes in the technology of growing and fodder estimation of fodder beet recent years. The yield of fodder beets has doubled in recent years, the energy value has approached concentrated feed.

Along with high yields, fodder beets are very nutritious and well digested, eaten well by animals and thus produce a lot of energy for development.

The beet growers-selectionists from Bavaria breed the sorts of fodder beet of different types that meet the requirements of different districts of Germany, taking into account the location, technology and methods of the technique use.

Complex mechanization of forage production provides new chances. Together with chemistry and agricultural technology, plant selection with the breeding of new varieties and the development of the best forms of seeds, can reduce labour intensiveness, costs and time.

The most energy-intensive and, at the same time, the most widespread process of feed preparation to feeding is grinding. The necessity of mechanization of the process of shredding root crops has led to the creation of a large number of different shredders: from corrugations with manual drives to high-performance machines.

However, today the task of high-quality grinding of feeds with a small specific energy content of the shredder remains unresolved, despite the diversity of constructions of the working organs and the machine in general. This leads to the fact that the energy costs for grinding make up 38% of the total energy inputs for feed preparation.

The feature of the proposed construction of the root crop roaster is the presence of cutting edges on the surface of the rotating drums, which are made in the form of cut cones, the outer drum body is located upright, and the inner drum body bottom is located down. The drums can rotate in different directions. The grinding drums are made with windows and fixed cutting elements.

Keywords: selection, varieties, root crops, technologies, cutting elements, grinding, cutting force, power.

F. 12. Pic. 11. Tabl. 2. Ref. 14.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Мазур Віктор Анатолійович – кандидат сільськогосподарських наук, ректор Вінницького національного аграрного університету, доцент кафедри «Рослинництва, селекції та біоенергетичних культур» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: mazur@vsau.vin.ua).
Любін Микола Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Процесів та обладнання переробних і харчових виробництв імені професора П.С. Берника» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: lubin@vsau.vin.ua).
Токарчук Олексій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Процесів та обладнання переробних і харчових виробництв імені професора П.С. Берника» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: tokarchyk@vsau.vin.ua).

Мазур Виктор Анатольевич – кандидат сельскохозяйственных наук, ректор Винницкого национального аграрного университета, доцент кафедры «Растениеводства, селекции и биоэнергетических культур» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: mazur@vsau.vin.ua).
Любин Николай Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Процессов и оборудования перерабатывающих и пищевых производств имени профессора П.С. Берника» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: lubin@vsau.vin.ua).
Токарчук Алексей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Процессов и оборудования перерабатывающих и пищевых производств имени профессора П.С. Берника» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: tokarchyk@vsau.vin.ua).

Mazur Viktor – PhD, Associate Professor, Rector of Vinnytsia National Agrarian University, Associate Professor of the Department of Plant Growing, Breeding and Bioenergetic Cultures of Vinnitsa National Agrarian University (3 Solnechnaya St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, e-mail: mazur@vsau.vin.ua).
Lyubin Mykola – PhD, Associate Professor of the Department of Processes and Equipment for Processing and Food Productions named after Prof. P.S. Bernik "of the Vinnytsia National Agrarian University (3 Solnechnaya St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, e-mail: lubin@vsau.vin.ua).
Tokarchuk Oleksii – PhD, Associate Professor of the Department of Processes and Equipment for Processing and Food Productions named after Prof. P.S. Bernik "of the Vinnytsia National Agrarian University (3 Solnechnaya St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, e-mail: tokarchyk@vsau.vin.ua).