



УДК 631.3.02:001.57:635.2.001.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МАШИНИ ДЛЯ ЗБИРАННЯ ЦИБУЛІ РІПЧАСТОЇ В УМОВАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Маринін С.О., інженер
УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

Анотація – у статті наведено графи технологій вирощування цибулі ріпчастої та опис машин для збирання цієї овочевої культури. Наведено теоретичні дослідження долотоподібного робочого органа для викопування цибулі ріпчастої. Представлено опис розробленої експериментальної установки та обґрунтовано її оптимальні параметри.

Ключові слова: графи технологій, викопування, цибуля ріпчаста, долотоподібний робочий орган, клин, пласт ґрунту, багатofакторний експеримент, оптимізація.

Постановка проблеми. Одним з основних завдань, які стоять перед сільським господарством країни, є поліпшення постачання населення продовольством, у тому числі овочевою продукцією. Серед овочевих культур біля 14% площ займає цибуля ріпчаста. У силу високих антисептичних і лікувальних властивостей річне її споживання складає не менше 9-12 кг на людину.

Не дивлячись на спеціалізацію господарств і механізацію ряду трудомістких процесів (передпосівний обробіток ґрунту, посів, міжрядний обробіток та ін.), працезатрати на вирощування цибулі ще великі, при цьому більше 60 % ручної праці і 50 % енерговитрат припадає на роботи, пов'язані із збиранням, післязбиральною обробкою і зберіганням. Зниження собівартості і підвищення якості зібраного урожаю можна добитися не тільки використанням нових сортів, але і застосуванням нових машин і енергозберігаючих технологій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання механізованого збирання цибулі розглянуті у фундаментальних роботах Богданова Г.П., Діденко Н.Ф., Кшникаткіна С.А., Ларюшина Н.В., Ларюшина Н.П., Медведева В.П., Мейлахса І.І., Петрова П.Д., Рахматуліна М.М., Рейнгарта Е.С., Хвостова В.А., Шабельника В.П., Щукіна М.М., Мітіна В.М., а також зарубіжних Ч. Петкова, Протасова А.А., Рибалко А.Г., L. Zannera, С. Маршалла, Zöldi Jstvan та ін.



Дослідженню робочих органів, які призначені виконувати різні операції при механізованому збиранні і доопрацюванні цибулі, присвячені роботи Богданова Г.Н, Діденко Н.Ф, Колчина Н.Н., Кшникаткина С.А., Ларюшина Н.В., Ларюшина Н.П., Мейлахса І.І., Рахматуліна М.М., Рейнгарта Е.С. [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19].

Ці роботи внесли вагомий внесок до дослідження закономірностей виконання збиральних операцій, а також в розробку робочих органів для викопування цибулі.

Рейнгарт Е.С. в своїх роботах, присвячених проблемам збирання цибулі і післязбирального доопрацювання цибулі, говорить про доцільність проводити відділення пера цибулі безпосередньо на полі (обрізання пера цибулі на кореню) [12].

Дослідами Богданова Г.П. [2] встановлено, що для машинного збирання вологість листя повинна бути в діапазоні 15-60%, а оптимальними термінами однофазного збирання є 7-9 день після обробки десикантами в період вилягання більше 80% листя у цибулі.

За спільними дослідженнями Мейлахса І.І. (НІОХ) і Рейнгарта Е.С. (ВІСХОМ) [7, 9] розроблена укорочена двофазна технологія збирання цибулі і технічних засобів для її здійснення. Технологія включає обрізання листя цибулі на кореню, викопування з укладанням у валки, короткочасну сушку (2-5 діб), підбір із завантаженням в транспортний засіб і післязбиральну обробку на стаціонарі.

Роботи Ларюшина Н.П., Мітіна В.М. [4, 10] присвячені відділенню пера від цибулини на стаціонарних пунктах за допомогою роторних обрізувачів, свідчать про те, що роторні обрізувачі забезпечують 85-92% повноти обрізання.

Актуальність проблеми підтверджується і тим, що нею займаються і учені таких країн як Німеччина, Англія, Нідерландах, США, Росія, Австралія, Японія і ін.

Мета дослідження – розроблення нового ресурсозберігаючого робочого органу для викопування цибулі з обґрунтуванням його конструкційно-кінематичних параметрів, що дозволить скоротити енергетичні та витрати праці, а також покращити якість продукції.

Виклад основного матеріалу дослідження. Найбільш трудомісткими операціями технології вирощування цибулі є збирання і післязбиральне доопрацювання [10, 8, 20], оскільки збирання пов'язане з необхідністю вилучення цибулин з ґрунту і подальшою сепарацією ґрунтових і інших домішок. Цим визначається висока трудомісткість збирання, що становить 60...80% від всіх трудовитрат на виробництво [4, 6, 10, 13, 16, 21].

Існує декілька варіантів збирання цибулі ріпчастої з частковою механізацією праці або комбайновим збиранням [4, 10, 11, 16, 22].

При ручному збиранні цибулі ріпчастої витрачається 7 люд.-год/ц. Розроблені до теперішнього часу машини не повною мірою відповідають сучасним вимогам.

Аналіз технологічних засобів збирання цибулі в розвинених країнах показує, що механізації збирання цибулі приділяють велику увагу. Випускається широка номенклатура машин, як причіпного, так і самохідного виконання. Як правило, машини використовують по двох технологіях збирання;

- двофазна (викопування і укладання у валок з подальшим механізованим підбором після 10...14 днів відлежування цибулі на полі для просушування і дозрівання);

- однофазна (обрізання бадилля, викопування цибулин і очищення від домішок, завантаження в транспортний засіб).

В Україні набула поширення двофазна технологія збирання, при якому підсушування і дозрівання здійснюється безпосередньо на полі після викопування з подальшим підбором.

Також в світовій практиці застосовуються інші технології, зокрема, однофазна, при якій просушування цибулі проводиться на стаціонарних пунктах [16, 22].

На рисунку 1 представлено граф можливих варіантів технологій вирощування цибулі ріпчастої.

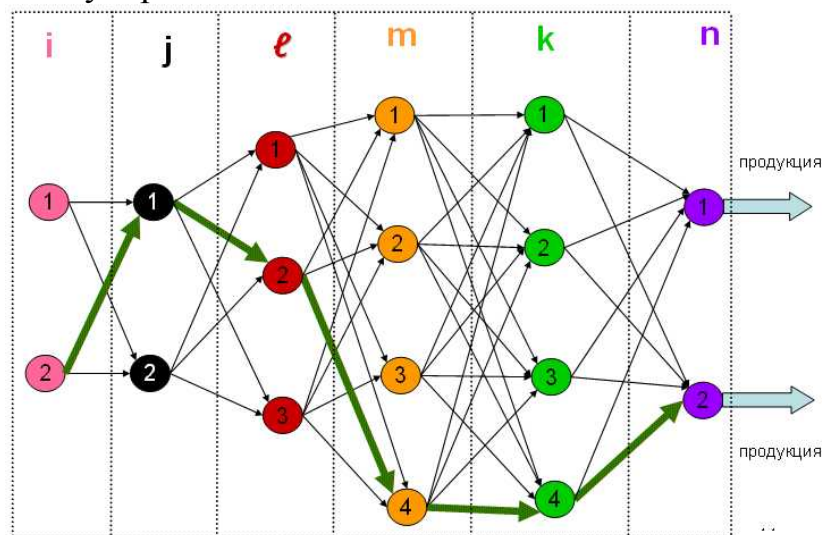


Рис. 1. Граф можливих варіантів вирощування цибулі ріпчастої

Систематизований згідно 3. Сигу граф містить основні технологічні прийоми, які доцільно позначити латинськими літерами (i j l mk n). Інтегруються вказані параметри наступним чином:

- класифікації способу збирання „i” можлива в двох варіантах, (1- однофазний або 2- двофазний);

- технологічні способи збирання цибулі „j” можливі в двох варіантах (1- викопування або 2- терebinня);



- схеми посівів, „*ℓ*” можливі в трьох варіантах, (1- стрічковий; 2- на грядках; 3- суцільний рядковий);

- спосіб забезпечення вологою „*м*” можливі в чотирьох варіантах, (1- природний фон; 2- полив по борознам; 3- полив дощуванням; 4- крапельне зрошення);

- обрізування пера „*к*”, можливі в чотирьох варіантах (1 – перед збиранням; 2 – під час збирання; 3 – під час підбору і завантаження в транспортний засіб; 4- після збирання на стаціонарних лініях очистки);

- спосіб подальшого зберігання „*п*” можливі в двох варіантах, (1 – короткотривале зберігання; 2 – довготривале зберігання).

Так технологія виділена на рис. 1 (*i*2, *j*1, *ℓ*2, *м*4, *к*4, *п*2) означає: двофазний спосіб збирання (*i*2), викопуванням (*j*1), на грядках (*ℓ*2), вирощування цибулі з використанням крапельного зрошення (*м*4), обрізування пера здійснюється на стаціонарних лініях очистки (*к*4), зберігання продукції планується довготривале (*п*2).

Технології механізованого збирання цибулі передбачають такі технологічні операції як обрізка пера, викопування, укладання у валок або завантаження цибулі в транспортний засіб. Виходячи з цього можуть бути і різні варіанти технологій збирання цибулі ріпчастої і в залежності від того яка вибрана технологія із представлених граф можливих технологій вирощування цибулі ріпчастої та наявної сільськогосподарської техніки для її реалізації:

- **I** – Обрізка → викопування і вкладання у валок → підбір і завантаження в транспортний засіб;

- **II** – Обрізка → викопування і завантаження в транспортний засіб;

- **III** – Викопування і вкладання у валок → підбір обрізка і завантаження;

- **IV** – Викопування, обрізка і вкладання у валок → підбір і завантаження;

- **V** – Викопування і вкладання у валок → підбір і завантаження в транспортний засіб → доочистка на стаціонарних машинах;

- **VI** – Викопування, обрізка, завантаження в транспортний засіб за один прохід.

На ринку України представлено два типи машин «SU2B» виробництва фірми «SAMON» (Нідерланди) [23] та WR-135 виробництва фірми «ASALIFT» (Данія) [24], які призначені для викопування цибулі, очищення її від землі та домішок і укладання у валок для дозрівання цибулин. Ці машини складаються з однотипних основних вузлів та механізмів (рами, навісного пристрою, прорізних дисків, пруткового транспортера, валкоукладчика, котка, опорних коліс) і відмінних (викопуючих робочих органів, зворотного клапану або бітера, привода).

Рама просторового типу з кронштейнами для триточкового механічного навішування на задню систему трактора. Прорізні диски для формування смуги ґрунту перед викопуючим робочим органом. Прутковий транспортер з механічним вібратором для транспортування цибулин та сепарування вороху. Валкоукладач для укладання очищеного вороху цибулі на поверхню грядки у валок для дозрівання. Коток для формування поверхні ґрунту під ворох цибулі з одночасною функцією опорного пристрою. Опорні колеса з гумовими шинами, встановленими в зоні навісного пристосування. Колеса можуть змінювати своє положення по ширині та висоті, що забезпечує необхідну глибину ходу робочого підкопуючого органу.

Викопуючі робочі органи машини SU2B – пасивні ножі (рис. 2) в яких залежно від умов роботи та покращення процесу підкопування та подачі цибулі на прутковий транспортер регулюється кут атаки.

Привід пруткових транспортерів машини SU2B від валу відбору потужності трактора здійснюється через карданний вал, кутовий редуктор, проміжні вали, ланцюгові передачі. Також в цій машині застосовується гідравлічна система для приведення в дію поворотного клапана, встановленого над ножами.



Рис. 2. Загальний вигляд робочих органів машини SU2B.

Викопуючий робочий орган машини WR-135 (рис. 3) є квадратний вал, що обертається в ґрунті. Привід квадратного вала, а також пруткового транспортера і бітера з чотирма лопатями встановленого над квадратним валом здійснюється через кутовий редуктор, проміжні вали, ланцюгові передачі, карданний вал від валу відбору потужності трактора.



Рис. 3. Загальний вигляд робочих органів машини WR-135.

Одним з основних напрямів підвищення якості збирання врожаю цибулі ріпчастої є пошук і конструювання робочих органів для одночасного викопування і сепарації цибулі від ґрунту і забезпечення передумов її подальшого механізованого збирання.

Результати теоретичних досліджень. Питанням розробки робочого органу долотоподібного типу присвячені роботи багатьох авторів. Фундаментальні дослідження проведені такими видатними вченими, як В.П. Горячкін і П.М. Василенко [25-27]. Надалі дослідження в цих напрямів були розвинені в роботах Г.Н. Синеокова, І.М. Панова, В.Ф. Пащенко, В.І. Ветохіна [28-32].

Вперше застосування робочого органу долотоподібного вигляду було застосоване для викопування цибулі ріпчастої [33].

Якісне виконання технологічного процесу (отримання необхідної частини грудок ґрунту менше або на рівні мінімального діаметра товарної цибулі), що тісно корелює з величиною кута кришення ґрунту β , є похідна таких чинників, як форма клину, яка впливає на величину активного кута ядра ущільнення, режими роботи (глибина ходу клину h , швидкість руху клину v) і тип ґрунту. Враховуючи постійність або невеликий розкид більшості з названих чинників (глибини ходу клину $h=4$ см, швидкості руху клину $v=6-7$ км/год), в умовах роботи робочого органу машини для викопування цибулі ріпчастої базовим параметром є кут α .

Під час руху в ґрунті викопуючого робочого органу долотоподібного типу перед ним утворюється ґрунтове ущільнене ядро з частинками, що періодично змінюються, у вигляді клину, яке й впливає на оброблюване середовище. Висота майданчика викопуючого робочого органу має відносно невеликий розмір (до 20 мм), і тому можна вважати, що ядро ущільнення має прямолінійну поверхню з висотою під-

йому ґрунту, рівною його ширині. Вибираємо декартову рухому систему координат XOZ з початком відліку в початку ядра ущільнення (рис. 4).

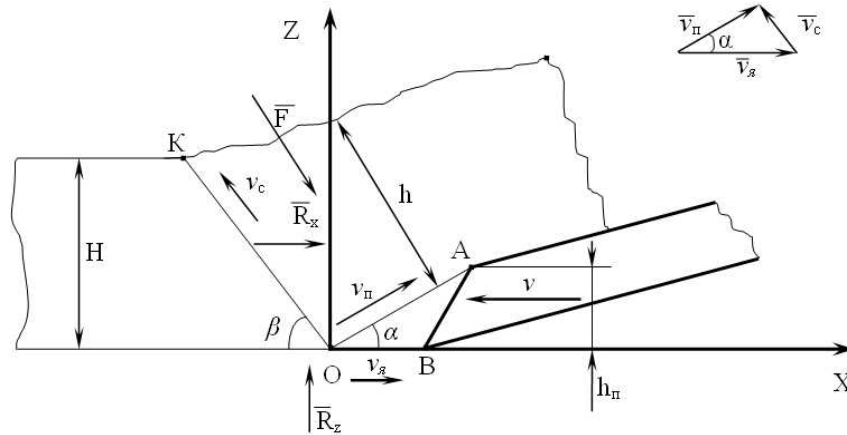


Рис. 4. Деформація ґрунту під впливом клину.

Ядро ущільнення АОВ, що переміщається із швидкістю $v_{я}$, вдавлюється в частину ґрунту, що не деформується. Це призводить до зниження швидкості руху пласта ґрунту щодо клину і підвищення його рівня. Виходячи з умов безперервності руху ґрунту, отримуємо:

$$h = H \frac{v}{v_{я}}, \quad (1)$$

де H – глибина ходу клину;

h – товщина вивантаженого шару ґрунту перед клином;

v – швидкість руху клину в ґрунті;

$v_{я}$ – швидкість руху ядра ущільнення;

$v_{с}$ – швидкість руху пласта ґрунту щодо лінії зрушення ОК;

$v_{п}$ – швидкість руху пласта ґрунту щодо клину.

Тіло зрушення під дією ядра ущільнення переміщується по його поверхні з швидкістю $v_{п}$ і одночасно ковзає по площині зрушення з швидкістю $v_{с}$ [25]. З трикутника швидкостей, використовуючи теорему синусів, знаходимо:

$$v_{п} = v_{я} \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}; \quad v_{с} = v_{я} \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}. \quad (2)$$

На утворене в сипкому середовищі тіло ковзання впливають горизонтальна R_x і вертикальна R_z складові рівнодіючої дії клину на ґрунт, викликаною силами тертя і пасивним тиском ґрунту на клин, а також сила інерції пласта ґрунту F .

На підставі теорії граничного стану сипкого середовища знаходимо [31]:

$$R_x = h_{п} \frac{1 - \sin \varphi_B \cos 2\alpha}{1 - \sin \varphi} (1 + ctg \alpha tg \varphi) \cdot \left[\frac{\gamma H}{2} + C_{\omega} ctg \beta \left(1 - \frac{1 - \sin \varphi}{1 - \sin \varphi_B \cos 2\alpha} \right) \right]; \quad (3)$$



$$R_z = h_{\Pi} \frac{1 - \sin \varphi_B \cos 2\alpha}{1 - \sin \varphi} (1 + ctg \alpha tg \varphi) \cdot \left[\frac{\gamma H}{2} + C_{\omega} ctg \varphi_B \left(1 - \frac{1 - \sin \varphi}{1 - \sin \varphi_B \cos 2\alpha} \right) \right]. \quad (4)$$

де γ – щільність ґрунту;

φ – кут тертя ґрунт-клин;

φ_B – кут внутрішнього тертя ґрунт-ґрунт.

Приведені формули справедливі тільки для визначення зусиль, необхідних для утворення тіла ковзання [29].

Для спрощення подальших викладень введемо наступні позначення:

$$D_1 = \frac{1 - \sin \varphi_B \cos 2\alpha}{1 - \sin \varphi} h_{\Pi}; \quad (5)$$

$$D_2 = C_{\omega} ctg \varphi_B \left(1 - \frac{1 - \sin \varphi}{1 - \sin \varphi_B \cos 2\alpha} \right). \quad (6)$$

Тоді отримаємо:

$$R_x = D_1 \left(\frac{\gamma H v_{\gamma}}{2 v_{\gamma}} + D_2 \right) (1 + ctg \alpha tg \varphi); \quad (7)$$

$$R_z = D_1 \left(\frac{\gamma h v_k}{2 v_{\gamma}} + D_2 \right) (ctg \alpha + tg \varphi). \quad (8)$$

Динамічний тиск пласта, викликаний його інерцією, можна розглядати як безперервний удар частинок об площину клину, використовуючи рівняння Мещерського рівняння руху із змінною масою [4].

$$\frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{F}. \quad (9)$$

Оскільки значення початкової швидкості частинок ґрунту у напрямі абсолютної швидкості до зіткнення з клином постійне, то рівняння (9) можна записати у вигляді

$$\vec{F} = \frac{dm}{dt} \vec{v}_{\Pi}. \quad (10)$$

Маса ґрунту $\frac{dm}{dt}$ одиничної ширини, що надходить на клин в одиницю часу, обчислюється за формулою

$$\frac{dm}{dt} = \frac{h\gamma}{g} v_{\gamma}.$$

Тоді, з урахуванням рівнянь (1) і (2), маємо:

$$F = \frac{H\gamma v}{g} \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} v_{\gamma}. \quad (11)$$

Ввівши позначення

$$D_3 = \frac{H\gamma v}{g} \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad (12)$$

Отримаємо:

$$F = D_3 v_{\gamma}. \quad (13)$$



Рівняння динаміки руху пласта ґрунту на поверхні клину в прийнятій системі

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = R_x + F \cos \beta ; \quad (14)$$

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = R_z - F \sin \beta . \quad (15)$$

З урахуванням рівнянь (7), (8) і (13) отримаємо:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = D_1 \left(\frac{\gamma H v}{2 v_{\text{я}}} + D_2 \right) (1 + \text{ctg} \alpha \text{tg} \varphi) + D_3 v_{\text{я}} \cos \beta ;$$

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = D_1 \left(\frac{\gamma H v}{2 v_{\text{я}}} + D_2 \right) (\text{ctg} \alpha + \text{tg} \varphi) - D_3 v_{\text{я}} \sin \beta .$$

Позначивши

$$D_4 = (\gamma H v / 2 m) D_1 ; \quad (16)$$

$$D_5 = (1 + \text{ctg} \alpha \text{tg} \varphi) D_1 / m ; \quad (17)$$

$$D_6 = (\text{ctg} \alpha + \text{tg} \varphi) D_1 / m ; \quad (18)$$

$$D_7 = (\cos \beta / m) D_3 ; \quad (19)$$

$$D_8 = (\sin \beta / m) D_3 , \quad (20)$$

після проведення необхідних перетворень отримаємо таку систему диференціальних рівнянь:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} - \frac{D_4 D_5}{v_{\text{я}}} - D_7 v_{\text{я}} - D_2 D_5 = 0 ; \quad (21)$$

$$\frac{d^2 z}{dt^2} - \frac{D_4 D_6}{v_{\text{я}}} + D_8 v_{\text{я}} - D_2 D_6 = 0 . \quad (22)$$

Введемо заміну змінних в рівнянні: $\frac{dx}{dt} = u$; $\frac{d^2 x}{dt^2} = \dot{u}$.

Тоді

$$\dot{u} u - D_7 u^2 - D_2 D_5 u - D_4 D_5 = 0$$

або

$$u \frac{du}{dt} = D_7 u^2 + D_2 D_5 u + D_4 D_5$$

Після розділення змінних отримаємо

$$\frac{u du}{D_7 u^2 + D_2 D_5 u + D_4 D_5} = dt .$$

Проінтегруємо ліву частину рівняння

$$\frac{1}{23_7} \int \frac{d(D_7 u^2 + D_2 D_5 u + D_4 D_5)}{D_7 u^2 + D_2 D_5 u + D_4 D_5} - \frac{D_2 D_5}{2 D_7^2} \int \frac{du}{\left(u \frac{D_2 D_5}{2 D_7} \right) + \frac{D_4 D_5}{D_7} - \frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2}} .$$

Вирішивши диференціальне рівняння за умови, що

$$\frac{D_4 D_5}{D_7} - \frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2} > 0$$

отримаємо



$$\frac{tg\alpha}{D_7} \left[\ln \left| \frac{D_8 v_{я}^2 + D_2 D_6 v_{я} + D_4 D_6}{tg\alpha} \right| - \ln \left| \frac{D_4 D_5}{tg\alpha} \right| \right] - \frac{D_2 D_5}{D_7 \sqrt{\frac{D_4 D_5}{D_7} - \frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2}}} \times$$

$$\times \left[\ln \left| \frac{v_{я} + \frac{D_2 D_5}{2 D_7} - \sqrt{\frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2} - \frac{D_4 D_5}{D_7}}}{v_{я} + \frac{D_2 D_5}{2 D_7} + \sqrt{\frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2} - \frac{D_4 D_5}{D_7}}} \right| - \ln \left| \frac{\frac{D_2 D_5}{2 D_7} - \sqrt{\frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2} - \frac{D_4 D_5}{D_7}}}{\frac{D_2 D_5}{2 D_7} + \sqrt{\frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2} - \frac{D_4 D_5}{D_7}}} \right| \right] - t = 0. \quad (23)$$

Якщо $\frac{D_4 D_5}{D_7} - \frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2} > 0$, то рівняння (23) з урахуванням заміни

змінних запишеться так:

$$\frac{1}{D_7} \ln \left| D_7 v_{я}^2 + D_2 D_5 v_{я} + D_4 D_5 \right| - \frac{D_2 D_5}{D_7 \sqrt{\frac{D_4 D_5}{D_7} - \frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2}}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{v_{я} + \frac{D_2 D_5}{2 D_7}}{\sqrt{\frac{D_4 D_5}{D_7} - \frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2}}} = t + C.$$

Виходячи з початкових умов $t = 0$; $v_{я} = 0$, отримаємо значення постійної інтеграції

$$C = \frac{1}{D_7} \ln \left| D_4 D_5 \right| - \frac{D_2 D_5}{D_7 \sqrt{\frac{D_4 D_5}{D_7} - \frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2}}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{\frac{D_2 D_5}{2 D_7}}{\sqrt{\frac{D_4 D_5}{D_7} - \frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2}}}$$

У такому разі вирішення диференціального рівняння (21) матиме вигляд:

$$\frac{1}{D_7} \ln \left| D_7 v_{я}^2 + D_2 D_5 v_{я} + D_4 D_5 \right| - \ln \left| D_4 D_5 \right| - \frac{D_2 D_5}{D_7 \sqrt{\frac{D_4 D_5}{D_7} - \frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2}}} \times$$

$$\times \left[\operatorname{arctg} \frac{v_{я} + \frac{D_2 D_5}{2 D_7}}{\sqrt{\frac{D_4 D_5}{D_7} - \frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2}}} - \operatorname{arctg} \frac{\frac{D_2 D_5}{2 D_7}}{\sqrt{\frac{D_4 D_5}{D_7} - \frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2}}} \right] - t = 0.$$

Якщо $\frac{D_4 D_5}{D_7} - \frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2} < 0$, то рішення диференціального рівняння

(21) набуде вигляду:

$$\frac{1}{D_7} \ln \left| D_7 v_{я}^2 + D_2 D_5 v_{я} + D_4 D_5 \right| - \ln \left| D_4 D_5 \right| - \frac{D_2 D_5}{2 D_7 \sqrt{\frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2} - \frac{D_4 D_5}{D_7}}} \times$$

$$\times \left[\ln \left| \frac{v_{я} + \frac{D_2 D_5}{2 D_7} - \sqrt{\frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2} - \frac{D_4 D_5}{D_7}}}{v_{я} + \frac{D_2 D_5}{2 D_7} + \sqrt{\frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2} - \frac{D_4 D_5}{D_7}}} \right| - \ln \left| \frac{\frac{D_2 D_5}{2 D_7} - \sqrt{\frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2} - \frac{D_4 D_5}{D_7}}}{\frac{D_2 D_5}{2 D_7} + \sqrt{\frac{(D_2 D_5)^2}{4 D_7^2} - \frac{D_4 D_5}{D_7}}} \right| \right] - t = 0.$$

З урахуванням того, що $z = x \operatorname{tg} \alpha$; $\frac{d^2 z}{(dt)^2} = \frac{d^2 x}{(dt)^2} \operatorname{tg} \alpha$; $\frac{dx}{dt} = u$ рівняння

(22) запишемо у вигляді:

$$iu - \frac{D_8}{\operatorname{tg} \alpha} u^2 - \frac{D_2 D_6}{\operatorname{tg} \alpha} u - \frac{D_4 D_6}{\operatorname{tg} \alpha} = 0.$$

Якщо $\frac{D_4 D_5}{D_7} - \frac{(D_2 D_5)^2}{4D_7^2} < 0$, то рішення диференціального рівняння

(22) матиме вигляд

$$\begin{aligned} & \frac{\operatorname{tg} \alpha}{D_8} \left[\ln \left| \frac{D_8 v_{\text{я}}^2 + D_2 D_6 v_{\text{я}} + D_4 D_6}{\operatorname{tg} \alpha} \right| - \ln \left| \frac{D_4 D_5}{\operatorname{tg} \alpha} \right| \right] - \frac{D_2 D_5}{2D_7 \sqrt{\frac{(D_2 D_5)^2}{4D_7^2} - \frac{D_4 D_5}{D_7}}} \times \\ & \times \left[\ln \left| \frac{v_{\text{я}} + \frac{D_2 D_5}{2D_7} - \sqrt{\frac{(D_2 D_5)^2}{4D_7^2} - \frac{D_4 D_5}{D_7}}}{v_{\text{я}} + \frac{D_2 D_5}{2D_7} + \sqrt{\frac{(D_2 D_5)^2}{4D_7^2} - \frac{D_4 D_5}{D_7}}} \right| - \ln \left| \frac{\frac{D_2 D_5}{2D_7} - \sqrt{\frac{(D_2 D_5)^2}{4D_7^2} - \frac{D_4 D_5}{D_7}}}{\frac{D_2 D_5}{2D_7} + \sqrt{\frac{(D_2 D_5)^2}{4D_7^2} - \frac{D_4 D_5}{D_7}}} \right| \right] - t = 0. \end{aligned} \quad (24)$$

Час проходження пласта ґрунту клином з урахуванням рівняння (2) обчислюємо за формулою

$$t = \frac{h_{\Pi}}{\sin(\alpha + \beta) v_{\text{я}}}. \quad (25)$$

Масу ґрунту, що впливає на площину ядра ущільнення і робочий орган, знаходимо з геометричних міркувань на підставі відомих величин кутів зрушення і обсіпання за формулою

$$m = \frac{\gamma H v}{v_{\text{я}}} \left\{ \frac{h_{\Pi}}{\sin \alpha} + \frac{H v [\operatorname{ctg}(\alpha + \beta)] - \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_B)}{2v_{\text{я}}} \right\}, \quad (26)$$

де кут зрушення $\beta = 90^\circ - \frac{\alpha + \varphi + \varphi_B}{2}$.

Результати експериментальних досліджень. Для дослідження процесу викопування цибулі ріпчастої в УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого розроблено і виготовлено експериментальну установку (рис. 5).

Експериментальна установка включає навісний пристрій 1, спеціальну раму 2 з встановленими на ній робочими органами 3, бітер 4, кутовий редуктор 5, привід бітера 6, а також опорні колеса 7. Навісний пристрій забезпечує навішування установки на три точкову навісну систему трактора. Рама жорстка зварна конструкція до якої приварені кронштейни для кріплення інших вузлів та деталей. Робочі органи – набір вузьких доліт закріплених на штабі.

При цьому ширина вузького долота 16 мм знаходиться в межах половини одного мінімального діаметра товарної цибулі, інтервал розстановки вузьких доліт 30 знаходиться в межах одного мінімального діаметра товарної цибулі.



Рис. 5. Експериментальна установка: 1 – навісний пристрій; 2 – рама; 3 – викопуючі робочі органи (набір доліт); 4 – бітер; 5 – редуктор; 6 – привід; 7 – опорне колесо

Крім того, набір вузьких доліт встановлено таким чином, що вони можуть займати п'ять положень за кутом атаки, а саме: 10° , 15° , 20° , 25° і 30° .

Бітер, являє собою встановлений в шарикопідшипниках вал на якому приварені шість пластин до яких пригвинчуються лопаті бітера. Кутовий редуктор забезпечує передачу крутного моменту від вала відбору потужності трактора на привід бітера. Привід бітера складається з ланцюгової передачі і двох зірочок, які встановлюються так, щоб зберігалось стале передаточне відношення зірочок на різних швидкостях. Зміною положення опорних коліс по вертикалі забезпечується глибина ходу доліт.

Конструктивні особливості установки забезпечують:

- зміну кута атаки (α) викопуючих робочих органів (набору доліт);
- зміну кількості лопатей бітера (Z);
- зміну числа обертів бітера (підтримується сталий кінематичний режим);
- зміну глибини ходу (h) викопуючих робочих органів;
- зміну місця установки осі бітера із лопатями.

Для проведення багатофакторного експерименту було виділено 45 ділянок смуги цибулі завдовжки 35 м кожен. Трактор ЮМЗ-6 з навішеною на навісну систему експериментальною установкою, налагодженою відповідно до вимог заданого варіанта експеримента проходили 3 рядки (три повторності в кожному експерименті) при одному і тому ж сталому коефіцієнті кінематичного режиму – $\lambda = 1,3$. Для визначення регресивної моделі, використовували D- оптимальний план Бокса-Бенкена. Чинники, що досліджували: α – кут атаки доліт, Z – число лопатей бітера і v – швидкість руху агрегата. Рівняння варіювання чинників представлено в табл. 1.

Рівні варіювання чинниками

Рівні та інтервал варіювання	Кодоване значення	Чинники та їх позначення		
		Кут атаки доліт α , град (x_1)	Число лопатей бітера, $Z(x_2)$	Швидкість руху агрегату, v , км/ГОД (x_3)
Верхній рівень	+1	10	2	3
Основний рівень	0	15	4	5
Нижній рівень	-1	20	6	7
Інтервал варіювання		5	2	2

Для організації проведення експериментів розроблена трирівнева матриця D-оптимального плану Бокса – Бенкена другого порядку для трьох чинників (α, z, v), який включає результати варіантів експериментів (три повторності – колонки 11, 12, 13). Для проведення кожного експеримента установка налаштовувалася на заданий варіант параметрів відповідно до матриці планування.

Обробка експериментальних даних здійснювалася за допомогою стандартного програмного забезпечення STATISTICA. В результаті отримали математичну модель другого порядку та побудовано поверхні відгуку (рис. 6).

$$P = 0,120x_1 + 0,016x_2 + 0,054x_3 + 0,025x_1x_2 + 0,115x_1x_3 - 0,007x_2x_3 + 0,116x_1^2 - 0,016x_2^2 + 0,034x_3^2$$

Для пошуку оптимального значення параметрів за рівнянням регресії знайдемо приватні похідні, рівняємо їх нулю та складаємо систему рівнянь

$$\frac{dy}{dx_1} = 0,12 + 0,025 \cdot x_2 + 0,115 \cdot x_3 + 2 \cdot 0,116 \cdot x_1;$$

$$\frac{dy}{dx_2} = 0,016 + 0,025 \cdot x_1 - 0,007 \cdot x_3 - 2 \cdot 0,016 \cdot x_2;$$

$$\frac{dy}{dx_3} = 0,054 + 0,115 \cdot x_1 - 0,007 \cdot x_2 + 2 \cdot 0,034 \cdot x_3.$$

Після вирішення системи рівнянь і визначення невідомих $x_1 = -0,670327169$; $x_2 = -0,095806543$; $x_3 = 0,329661451$ здійснюємо перехід від кодованих значень (x_1, x_2, x_3) факторів до натуральних (α, Z, V)

$$\alpha = \varepsilon_1 x_1 + \alpha_0; \quad Z = \varepsilon_2 x_2 + Z_0; \quad V = \varepsilon_3 x_3 + V_0,$$

де $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – інтервали варіювання факторів;

α_0, Z_0, V_0 – основні рівні факторів в натуральних виразах.

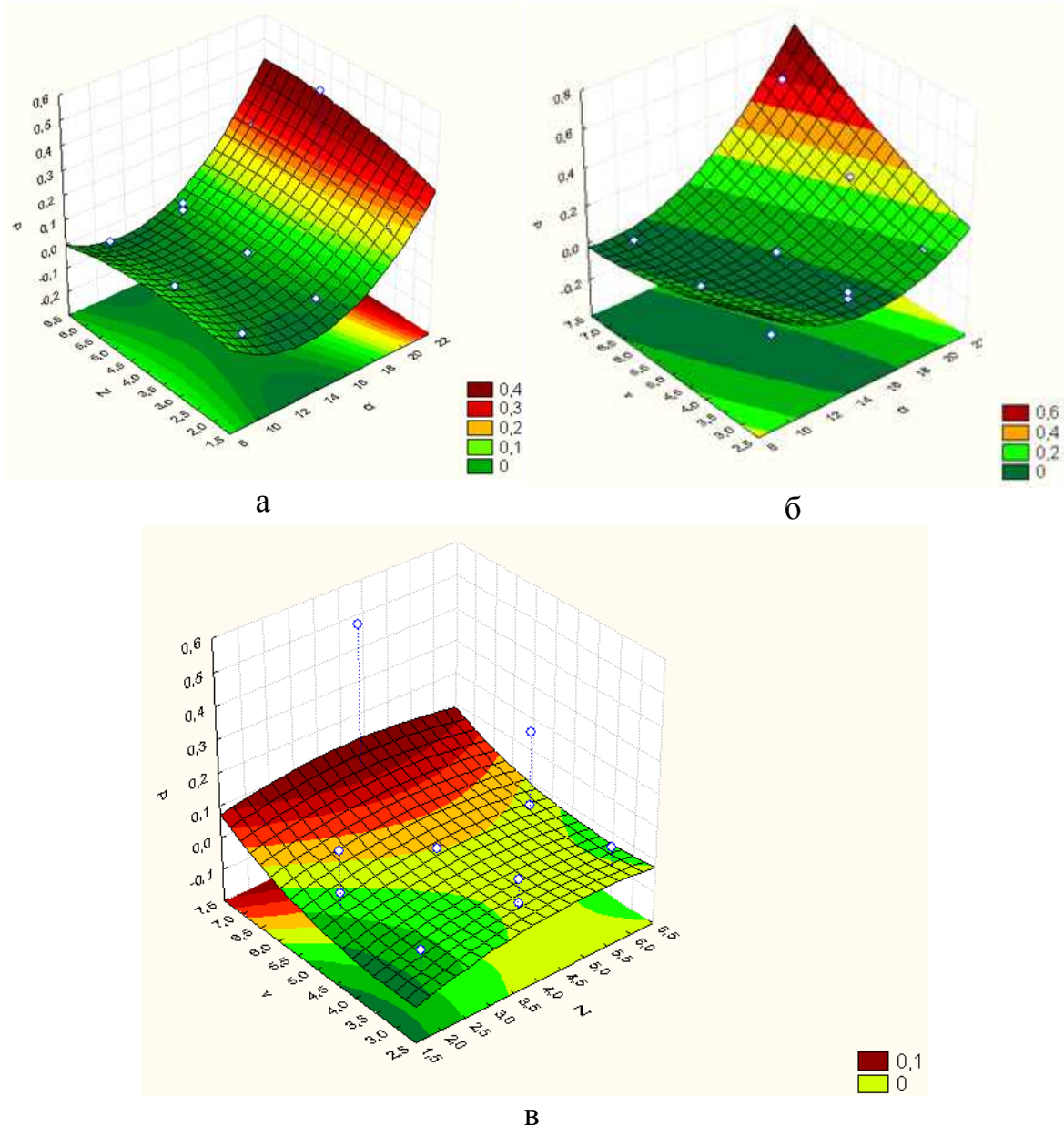


Рис.6. Поверхні відгуку залежності втрат цибулі від:
а – кількості лопатей і кута атаки доліт при швидкості руху 5 км/год; б – швидкості руху і кута атаки доліт при кількості лопатей 4 шт; в – швидкості руху і кількості лопатей при куті атаки доліт 15° .

Оптимальний кут атаки доліт (α) буде дорівнювати:

$$\alpha = 5 \cdot (-0,67) + 15 = 11,65^\circ, \text{ приймаємо } \alpha = 12^\circ$$

Оптимальна кількість лопатей бітера (Z) буде дорівнювати:

$$Z = 2 \cdot 0,096 + 4 = 3,81, \text{ приймаємо } Z = 4 \text{ шт.}$$

Оптимальна швидкість руху агрегату по полю (V) буде дорівнювати:

$$V = 2 \cdot 0,33 + 5 = 5,66, \text{ приймаємо } V = 6 \text{ км/год.}$$

Висновки.



1. Механізація найбільш трудомісткого процесу збирання цибулі ріпчастої є актуальною. Імовірні технологій вирощування цибулі інтегруються графом похідною розкладу якого є мережа можливих варіантів технологій з відповідним розмаїттям вибору техніки.

2. Вітчизняний ринок пропонує для збирання цибулі лише імпортні зразки техніки які мають відмінності в технологічних підходах і технічній реалізації. Важливими є дослідження і розробка вітчизняної техніки для вирощування і збирання цибулі ріпчастої, що особливо актуальна для господарств з малим і середнім розмірно-ресурсним рівнем.

3. Після вирішення системи рівнянь було знайдено значення кута β кришення ґрунту долотом і відносна швидкість руху пласта ґрунту по ядру ущільнення. Представлена модель дає можливість визначити кут β кришення ґрунту, відносну швидкість руху пласта ґрунту, а також час знаходження пласта на клині.

4. Розроблено і виготовлено дослідний зразок установки із запропонованим викопуючим робочим органом для покращення якісних показників роботи.

5. В результаті проведення експериментальних лабораторно-польових досліджень та обробки даних розроблені регресійна математична модель, яка характеризує зміни втрат цибулі в залежності від конструктивно-технологічних параметрів – кута атаки доліт, кількості лопатей бітера та швидкості руху агрегату. Визначено оптимальні конструкційні параметри і режими роботи установки кут атаки доліт $\alpha = 12^\circ$, кількість лопатей бітера $Z = 4$ шт, швидкість руху агрегату по полю $V = 6$ км/год.

Література.

1. Болотских А.С. Овощи Украины. Справочник / А.С. Болотских. – Харьков: Орбита, 2001. – 1088 с.
2. Богданов Г.П. Исследование и обоснование технологического процесса предуборочной подготовки и способа уборки лука-севка и маточного лука в условиях Волго-Вятского района РСФСР: Автореф. дис. ... кандидата с.х. наук. – Москва, 1989. – 26 с.
3. Ларюшин Н.П. Машины для уборки и доработки лука / Н.П. Ларюшин, И.И. Мейлахс, В.П. Глушко // Картофель и овощи, 1990. – № 4. – С. 31-34.
4. Ларюшин Н.П. Механизация уборки лука / Н.П. Ларюшин, Н.В. Абрамов, В.М. Макаров // Картофель и овощи, 1992. – № 4. – С. 11-12.
5. Ларюшин Н.П. Устройство для выкапывания лука / Н.П. Ларюшин, Н.В. Абрамов, И.И. Мейлахс // Картофель и овощи, 1991. – № 4. – С. 31-32.
6. Диденко Н.Ф. машины для уборки овощей / Н.Ф. Диденко, В.А. Хвостов, В.П. Медведев. – М.: Машиностроение, 1984. – 320 с.



7. Мейлахс И.И. Комплекс машин для уборки лука-репки / И.И. Мейлахс, Э.С. Рейнгарт // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1990. – № 9. – С. 29-31
8. Мейлахс И.И. Комплексная механизация однофазной уборки лука / И.И. Мейлахс, В.Н. Сельмен, Э.С. Рейнгарт // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1981. – № 9. – С. 17-19.
9. Мейлахс И.И. Специальные технические средства для уборки лука / И.И. Мейлахс, Э.С. Рейнгарт, Л.И. Левчук // Сельское хозяйство за рубежом. 1979. – № 10. – С. 10-12.
10. Мітін В.М. Вдосконалення технології та технічних засобів механізованого збирання цибулі: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.20.01. «Механізація сільськогосподарського виробництва» / В.М. Мітін. – Мелітополь. – 2000. – 18 с.
11. Петров Г.Д., Бекетов П.В. Механизация возделывания и уборки овощей / Г.Д. Бекетов, П.В. Бекетов. – М.: Колос, 1983. – 250 с.
12. Рейнгарт Э.С. Обоснование параметров и разработка машин для уборки корнеплодов и лука: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Э.С. Рейнгарт. – М., 1995. – 136 с.
13. Хвостов В.А. Машины для уборки корнеплодов и лука. Теория, конструкция, расчет / В.А. Хвостов, Э.С. Рейнгарт. – М.: Полимаг, 1995. – 392 с.
14. Хвостов В.А. техника для фермских хозяйств / В.А. Хвостов, Э.С. Рейнгарт // Картофель и овощи, 1991. – № 1. – С. 15-17.
15. Ларюшин Н.П. Параметры и режимы работы подборщика лука-севка с вальцово-битерным устройством / Н.П. Ларюшин, А.М. Ларюшин // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – № 6. – С. 11-13.
16. Ларюшин Н.П. Рациональная технология уборки лука / Н.П. Ларюшин, А.М. Ларюшин // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 9. – С. 37-38.
17. Ларюшин, Н.П. Результаты лабораторных исследований выкапывающего рабочего органа лукоуборочной машины / Н.П. Ларюшин, А.М. Ларюшин, Н.М. Семикова // Роль науки в развитии АПК: Сб. науч. трудов научно-практической конференции инженерного факультета Пензенской ГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2005. – С. 190–193.
18. Рыбалко А.Г. Параметры и режимы работы выкапывающе-сепарирующего органа / А.Г. Рыбалко, А.М. Ларюшин // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – № 9. – С. 17-19.
19. Протасов А.А. Функциональное моделирование процесса уборки лука-репки / А.А. Протасов // Вестник саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2005. – № 6. – С. 25-26.



20. Технології та нормативи витрат на вирощування овочевих культур; за ред. *П.Т. Саблука, Д.І. Мазоренка, Г.Є. Мазнева.* – К.: ННЦ ІАЕ, 2009. – 340 с.
21. *Борисов В.Я.* Спутник овощевода / *В.Я. Борисов, М.Ф. Перегуд, Р.А. Борисова.* – Симферополь: Таврия, 1972. – 213 с.
22. *Щукин М.М.* Однофазная уборка повышает качество / *М.М. Щукин, Г.П. Баданов, М.М. Рахматулин* // Картофель и овощи, 1989. – № 4. – С. 32-35.
23. Протокол випробувань № 537/(69-20/3) Машина для викопування цибулі SU2В / Південно-Українська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого – Херсон, – 2007. – 28 с.
24. Протокол державних випробувань № 538/(156-10/3) Машина для викопування цибулі WR-135 / Південно-Українська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого – Херсон, – 2008. – 31 с.
25. *Горячкин В.П.* Общая теория орудий. Собр. сочинений / *В.П. Горячкин.* – т.1, М.:Колос. – 1965.
26. *Горячкин В.П.* Теория разрушения почв. Собр. сочинений / *В.П. Горячкин.* – т.2, М.:Колос.– 1965.
27. *Василенко П.М.* Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / *П.М. Василенко.* – изд-во УАСХН.-К.: 1960. – 284 с.
28. *Синеоков Г.Н.* Теория и расчет почвообрабатывающих машин / *Г.Н. Синеоков, И.М. Панов.* – М.: «Машиностроение», 1977. – 328с.
29. *Зеленин А.Н.* Основы разрушения грунтов механическими способами / *А.Н.Зеленин.* – изд-е 2-е. – М.: Машиностроение, 1968.– 375 с.
30. *Панов И.М.* Физические основы механики почв / *И.М. Панов, В.И.Ветохин.* – К.: Феникс, 2008. –266 с.
31. *Пащенко В.Ф.* Механико-технологические средства эколого-экономического совершенствования процессов обработки почвы: дис. ... док. техн. наук: 05.05.11 / *В.Ф. Пащенко.* – Харьков, 2005. – 335 с.
32. *Ветохін В.И.* Системні та фізико-механічні основи проектування розпушувачів ґрунту: автореф. дис. док. техн. наук: спец. 05.05.11 «Машини та засоби механізації в сільськогосподарському виробництві». / *В.И. Ветохін.* – Глеваха, 2010. – 43 с.
33. Пат. 59912 Україна, МПК А 01 В 77/00. Викопуючий робочий орган для цибулі / *В.І. Кравчук, С.П. Маринін, А.С. Кушнар'ов, Л.П.Шустік, Л.І. Мазурик* (Україна). - № u201011767; заявл. 04.10.2010; опубл. 10.06.2011, Бюл. №11. – С. 4.



**ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
МАШИНЫ ДЛЯ УБОРКИ ЛУКА РЕПЧАТОГО
В УСЛОВИЯХ ЮГА УКРАИНЫ**

С. Маринин

Аннотация – в статье приведены графы технологий выращивания лука репчатого и описание машин для уборки этой овощной культуры. Приведены теоретические исследования долотообразного рабочего органа для выкапывания лука репчатого. Представлено описание разработанной экспериментальной установки и обосновано ее оптимальные параметры.

**RESEARCH AND SUBSTANTIATION PARAMETERS
OF MACHINES FOR ONION HARVESTING IN THE
SOUTH OF UKRAINE**

S. Marinin

Summary

The article contains graphs of technologies for growing onions and description of machines for harvesting this vegetable culture. Theoretical studies of the chisel-shaped working organ for digging onions are presented. A description of the developed experimental setup is presented and its optimal parameters are substantiated.