

## Ґрунтообробний агрегат для роботи в системі Strip-Till

У статті представлені результати аналітичних досліджень, спрямованих на обґрунтування конструктивних параметрів ґрунтообробного агрегата для роботи в системі смугового землеробства, тобто Strip-Till. Особливість конструкції полягає в тому, що оброблювана і необроблювана смуги розділені механічно на глибину розповсюдження ліній сколу від долота робочого органу. Друга особливість – розпушення ґрунту відбувається у міжрядковому просторі робочого органу, стояки якого проходять в межах зони тріщиноутворення, тобто працюють у деблокованому режимі. що суттєво зменшує тяговий опір.

**Ключові слова:** обробіток ґрунту, смугове землеробство, об'ємний розпушувач, коливання.

**Суть проблеми.** Технологія Strip-Till в Україні розповсюджена відносно мало. Не в останню чергу це пов'язане з тим, що для її впровадження необхідно мати весь комплекс машин, починаючи від ґрунтообробних і закінчуючи збиральними. Це досить складна задача, для вирішення якої потрібен тривалий час. Як перехідний етап можливе впровадження малих одно-двосмугових машин для агрегування з мотоблоком, на яких можна відпрацювати основні конструктивні і кінематичні параметри робочих органів. Таке рішення дозволяє виконати поступовий перехід до багатосмугових високопродуктивних агрегатів.

Розробку і впровадження комплексу необхідно починати з ґрунтообробних машин, які формують смуги і підготовляють ґрунт до наступних операцій. Складність полягає в необхідності сформувати раціональні за параметрами смуги, що в умовах їх малої ширини проблематично.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У конструкціях машин для смугового обробітку ґрунту використовують, в основному, стандартні робочі органи: диски, долотоподібні розпушувачі, котки. Слід відмітити, що стрільчасті лапи практично не використовують, а віддають перевагу різного виду дискам. На наш погляд, це пояснюється тим, що оброблюваний простір досить малий і пасивні робочі органи вписати важко.

Аналізом літературних джерел [2, 3, 7] та виконаними власними дослідженнями визначено основні проблеми, що виникають у процесі смугового обробітку:

- залишаються непорушеними зв'язки корневих систем бур'яну необроблених і оброблених смуг, що провокує їх розгалуження;
- чорноземи мають великі кути внутрішнього і зовнішнього тертя, тому лінії сколу від носка долота розповсюджуються в необроблену смугу, на що нераціонально витрачається тягове зусилля;
- опорне колесо (каток), яким встановлюється глибина ходу, іде по обробленій смузі, що призводить до підвищеного тягового опору на перекочування.

Конструкційна схема (рис. 1), яка пропонується авторами [7], частково вирішує цю проблему.

Особливість полягає в тому, що стояк знаряддя перекидає лінію сколу від долота у поперечній площині і не дає їй розповсюдитись за межами оброблюваної смуги. Одночасно з цим стояк розділяє кореневу систему бур'яну оброблених і необроблених смуг.

Автори пропонують розділити функції опорного колеса і прикочувального котка. Навантаження на коток різко зменшується, бо він тепер виконує тільки функцію ущільнення.

Стояки робочого органу не мають кутів сходження, що обмежує винесення ґрунту за межі оброблюваної смуги.

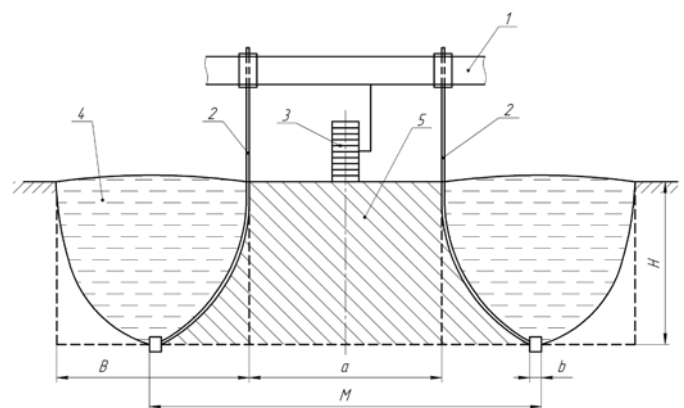


Рис. 1 – Схема ґрунтообробного знаряддя для смугового обробітку ґрунту за В. П. Юрчуком та В. І. Ветохіним [7]: 1 – рама; 2 – робочий орган; 3 – опорне колесо; 4 – оброблена смуга; 5 – необроблена смуга; b – ширина долота; B – ширина розпушеної смуги; H – глибина розпушування; M – ширина міжряддя

- До недоліків конструкції слід віднести таке:
  - коренева система в межах обробленої смуги залишається практично неушкодженою;
  - стояк рухається за межами сколювання призми ґрунту, тобто працює у заблокованому режимі, що суттєво збільшує тяговий опір.

**Мета роботи** – обґрунтування раціональних конструктивних параметрів розпушувача, адаптованого для роботи в умовах смугового землеробства.

**Основний матеріал досліджень.** За основу у проектуванні ґрунтообробного агрегата прийнятий V-подібний робочий орган (рис. 2), розроблений кафедрою сільськогосподарських машин ДДАЕУ [1, 4, 6].

Розпушувач працює таким чином.

На початковому етапі долото 1 підрізає шар ґрунту і

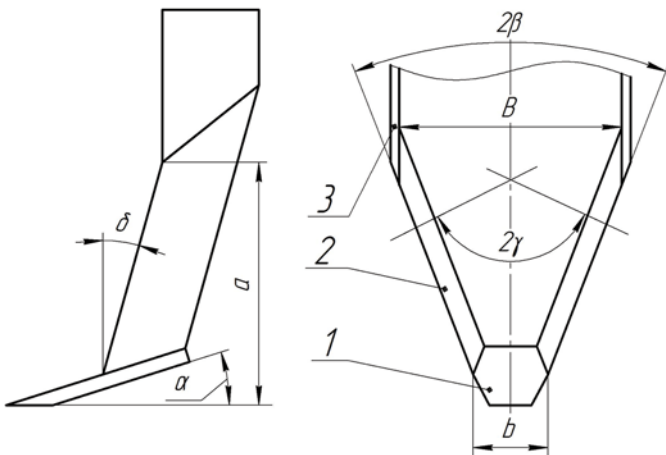


Рис. 2 – Розрахункова схема робочого органу

спрямовує його у міжстояковий простір, утворений стояками 2. Стояки відділяють призму ґрунту і стискуванням руйнують її. На заключному етапі шар ґрунту виходить із зони стискування і отримує додаткове розпушення за рахунок вивільнення накопиченої енергії на попередніх етапах. До переваг цього знаряддя слід віднести те, що розпушення відбувається у міжстояковому просторі і не виходить за його межі, що робить його перспективним для обробки смуг.

Конструкційні параметри  $V$  – подібного робочого органу добре відпрацьовані як на розпушенні ґрунту, так і на підкопуванні різного виду коренеплодів:

- ширина захвату на рівні донної поверхні,  $B = 250$  мм;
- ширина захвату на рівні нижнього обрізу,  $b = 100$  мм;
- кут атаки лемеша,  $\alpha = 15^\circ$ ;
- кут розвалу стояків,  $\beta = 30^\circ$ ;
- кут сходження стояків,  $\gamma = 60^\circ$ ;
- кут нахилу стояків до дна борозни,  $\delta = 10^\circ$ .

Від долота 1 у поперечно-вертикальній площині розповсюджуються лінії сколу, які зі збільшенням глибини обробки можуть вийти за межі оброблюваної смуги, що не бажано. Тому, ми пропонуємо поділити обробку ґрунту агрегатом на два етапи: спочатку відділити оброблювану смугу від загального масиву ґрунту, а вже потім виконати розпушення.

Для відділення ґрунту встановлюємо два диски 2, які розрізають шар ґрунту на глибину, що виключає розповсюдження лінії сколу у поперечному напрямку за межі оброблюваної смуги. Одночасно з цим, перерізається коренева система бур'яну і втрачаються його міжсмугові зв'язки.

До особливостей конструкції необхідно також віднести використання лиж замість опорних коліс. Вона полягає в тому, що лижі ковзають у зоні, де наявні бур'яни і рослинні рештки. Це зменшує тяговий опір лиж, у той час як опорні колеса будуть сприймати значно більший опір.

Для інтенсифікації процесу розпушення та запобігання забивання міжстоякового простору пропонується зробити  $V$ -подібний розпушувач вібрувальним. Розпушувач підвішений на паралелограмній начіпці, яка має пружний елемент. Враховуючи те, що механічні властивості ґрунту не можуть бути незмінними, опір на розпушення теж буде змінюватись. Останнє при-

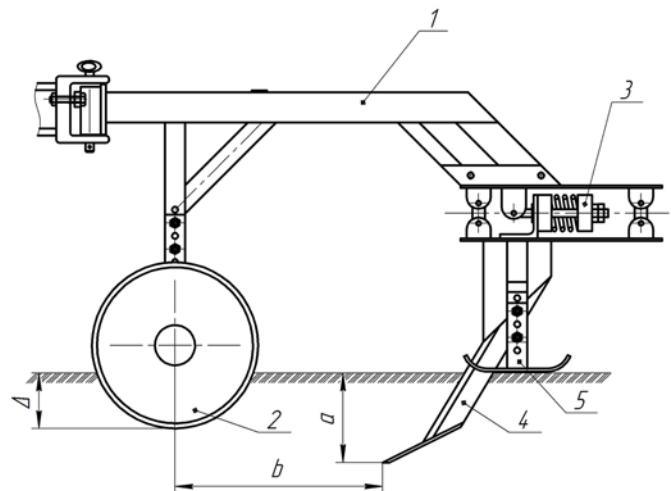


Рис. 3 – Конструкційна схема копача:

- 1 – рама; 2 – підризальний диск; 3 – механізм збудження коливань; 4 – корпус; 5 – лижа

зведе до збудження коливань у повздовжньому напрямку.

Для опори і підтримання постійної глибини ходу пропонуємо використати лижі. По-перше, вони ідуть по необробленій смугі, тобто ковзають по рослинних рештках і, таким чином, коефіцієнт тертя буде значно меншим, ніж по ґрунту. По-друге, ми пропонуємо кріпити лижі безпосередньо до корпусу вібрувального копача, а вібрація, як відомо, суттєво зменшує сили тертя.

Механізм збудження коливань працює таким чином.

Під час переміщення леміша відділення елементів ґрунту від загального масиву (рис.4) відбувається за площинами зсуву 2, які нахилені до леза під кутом  $90^\circ + \varphi_2$ , де  $\varphi_2$  – кут внутрішнього тертя ґрунту [4]. З початком руху відбувається змінання заштрихованої частини ґрунту до моменту виникнення тріщини, після чого розпочинється зсув сколотої частини.

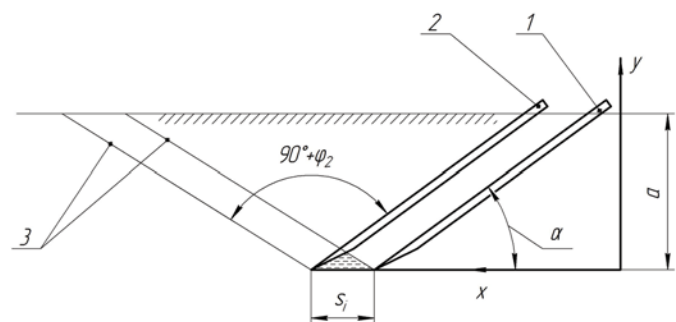


Рис. 4 – Розрахункова схема до визначення відстані між двома послідовними лініями сколу: 1 – вихідне положення долота; 2 – положення долота на момент сколу; 3 – пріоритетний напрямок розповсюдження лінії сколу

Відстань між двома послідовними лініями сколу [4, 5]

$$S_i = \frac{a \cdot C_{CP} \cdot \cos \varphi_2}{\cos^2(\alpha + \varphi_2) \cdot \sigma} \quad (1)$$

де  $a$  – глибина робочого ходу долота;

$\alpha$  – кут атаки лемеша;

$C_{CP}$  – середньостатистичне значення коефіцієнта питомого зчеплення часток;

$\sigma$  – напруга, яка діє на лінії сколу.

Час між двома послідовними сколами призми ґрунту становить

$$t = \frac{S}{V_p}, \quad (2)$$

де  $V_p$  – робоча швидкість.

Як відомо [4, 5], відкол призми ґрунту відбувається за рахунок сили  $F_{СК}$ . Напруга, яка діє на лінії сколу буде дорівнювати цій силі, поділеній на площу сколу, що дорівнює

$$\Pi_{СК} = \frac{a \cdot (b_1 + a \cdot \operatorname{tg}\varphi_2)}{\cos(\alpha + \varphi_2)}, \quad (3)$$

де  $b_1$  – ширина носка долота.

Для аналітичного визначення діючих сил розглянемо розрахункову схему (рис. 5):

У процесі роботи на корпус діють такі сили

- $F_{СК}$  – горизонтальна складова опору сколу ґрунту;
- $P_1$  – горизонтальна складова сил тертя та тиску

призми ґрунту на леміш;

- $F_2$  – горизонтальна складова сил тертя та тиску

призми ґрунту на бокові стояки;

- $F_L$  – сила тертя лижі по поверхні ґрунту;

- $F_V$  – швидкісна складова опору за теорією Ю. А.

Ветрова.

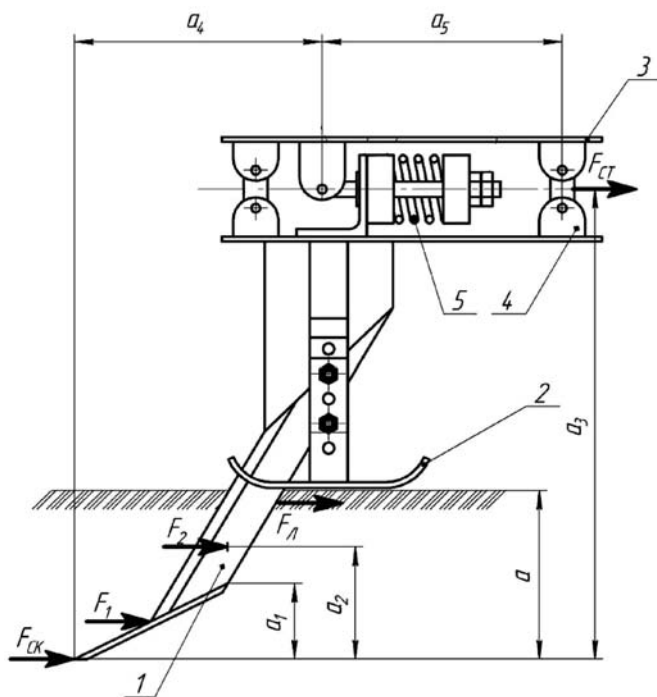


Рис. 5 – Розрахункова схема діючих сил: 1 – корпус; 2 – лижа; 3 – плита верхня; 4 – паралелограмний механізм; 5 – пружний елемент;

Коливання відбуваються за рахунок того, що загальна реакція діючих сил носить змінний циклічний характер, який визначається характером зміни сили  $F_{СК}$ .

Методика розрахунку наведених сил запропонована А. М. Панченко (ф-ли 179 – 200, [6]). У своїй роботі ми скористались саме цими залежностями. Враховуючи їх складність і, особливо, довжину не наводимо їх аналітичний вираз, а тільки результати

розрахунку. Розрахунки виконані для характерних ґрунтових умов Петриківського району Дніпропетровської області:  $C_{ПІТ} = 1,8 \text{ кН/м}^2$ ;  $\gamma = 1,3 \text{ т/м}^3$ ;  $\varphi_1 = 46 \text{ град}$ ;  $\varphi_2 = 35 \text{ град}$ . Усереднене значення сили стиснення пружного елемента для діапазону швидкостей 1,0 – 3,0 м/с:

$$F_{СТ} = F_{СК} + F_1 + F_2 + F_V + F_L = 2,616 \text{ кН} \quad (4)$$

Наведені розрахунки виконані за умови, що жорсткість пружини  $C = \infty$ . У разі, якщо пружина має кінцеву жорсткість, то вона буде стискатись до тих пір, поки не виконається умова

$$C \cdot \Delta L > F_{СТ}, \quad (5)$$

де  $\Delta L$  – величина, на яку зменшується пружина при стисненні;

$C$  – жорсткість пружини.

Відповідно на величину  $\Delta L$  буде збільшуватись середнє значення відстані між послідовними сколами. У момент сколу призми ґрунту  $F_{СТ}$  суттєво зменшиться, а енергія, накопичена пружиною, почне вивільнятись. Це забезпечить початковий рух корпусу з прискоренням. Таким чином, виникнуть повздовжні коливання з амплітудою та частотою, які визначаються жорсткістю пружини. Амплітуда коливань

$$A = S + \Delta L = \frac{a \cdot C_{CP} \cdot \cos\varphi_2}{\cos^2(\alpha + \varphi_2) \cdot \sigma} + \frac{F_{СТ}}{C}, \quad (6)$$

частота коливань

$$\omega = \frac{V_M}{2 \cdot A} = \frac{V_M}{2 \cdot (S + \Delta L)}, \quad (7)$$

де  $V_M$  – робоча швидкість агрегату.

У розрахунках взятє подвійне значення амплітуди коливань, бо корпус виконує подвійний поступально-зворотній рух.

Проаналізуємо вплив жорсткості пружини та швидкості поступального руху агрегату на амплітуду і частоту коливань робочого органу. При цьому приймаємо, що час релаксації пружини значно менший, ніж час проходження перехідних процесів у системі, і тому ним можна нехтувати. Також приймаємо, що залежність жорсткості від величини стиснення у розгляданому діапазоні носить лінійний характер.

Більш детально проаналізувати отримані результати можна, розглянувши залежності, представлені на рис. 6 та 7.

Аналіз наведених даних показує, що зі збільшенням жорсткості пружини амплітуда коливань зменшується і це зменшення носить нелінійний характер. Частота коливань навпаки збільшується і теж нелінійно.

Дослідження виконані рядом авторів, а також аналіз конструкцій активних робочих органів лемешевого типу вказують на те, що оптимальною слід вважати частоту коливань 15 – 25  $\text{с}^{-1}$  за амплітуди до 40 мм. Аналіз наведених залежностей (рис. 2. 7. та 2. 8) показує, що запропонований нами механізм збудження коливань спроможний працювати в цьому режимі. Оптимальною слід вважати жорсткість пружини в діапазоні 2,5 – 3,0  $\text{кН/см}$ .

#### Висновки:

1. У роботі представлені основні положення розробленої математичної моделі збудження автоколи-

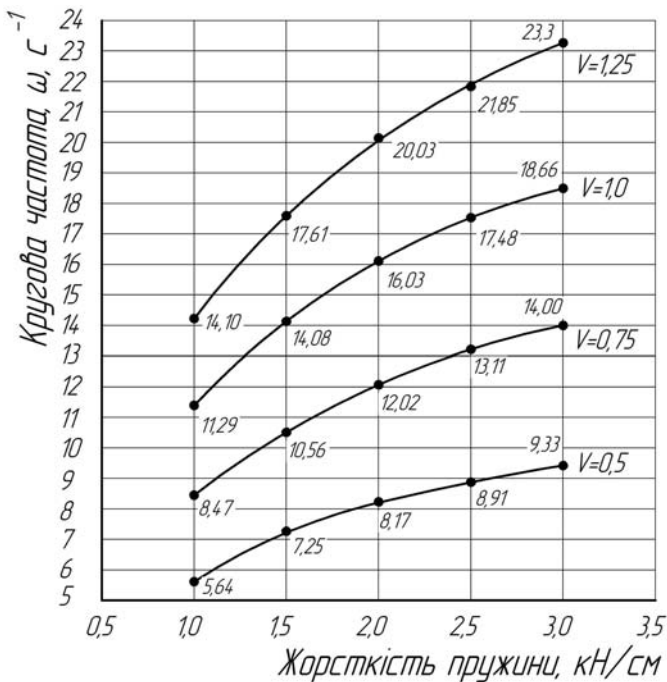


Рис. 6. – Залежність частоти коливань носка долота розпушувача від жорсткості пружини

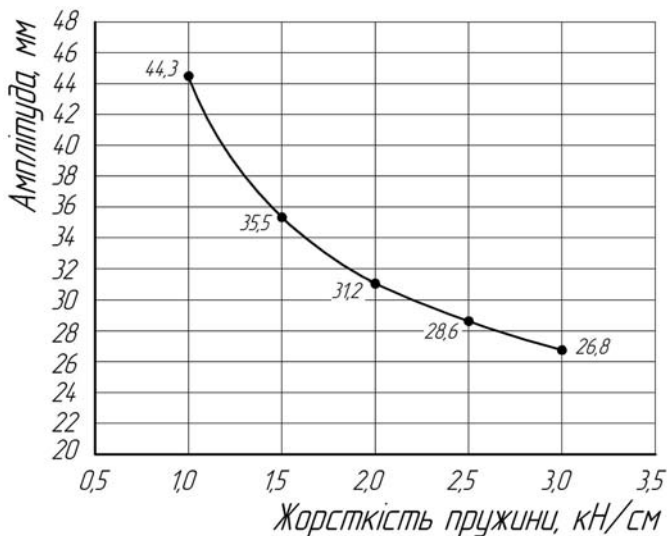


Рис. 7 – Залежність амплітуди коливань носка долота розпушувача від жорсткості пружини

вань робочого органу V-подібної форми. Виконаними розрахунками доведено, що за жорсткості пружини вібробудувача в діапазоні 2,5 – 3,0 кН/м в ґрунтових умовах Дніпропетровської області можна отримати оптимальні значення амплітуди (28,6 – 26,8 мм) і частоти коливань (13,1 – 23,3 с<sup>-1</sup>).

2. Прогнозований розрахунковий тяговий опір машини становить 2,616 кН під час експлуатації з максимальним значенням питомого зчеплення часток ґрунту 1,8 кН/м<sup>2</sup>. Використання лижі для регулювання глибини робочого ходу можна вважати виправданим, бо коефіцієнт перекочування опорного колеса в умовах стерні вищий за коефіцієнт тертя ковзання, особливо в умовах вібрації. Загальний тяговий опір лиж 0,341 кН, що становить не більше 13% загального опору машини.

3. Пасивний варіант V-подібного робочого органу теж може бути використаний, але на легких ґрунтах і за

оптимальної вологості. Розрахункова відстань між двома послідовними сколами призми ґрунту в такому разі буде становити 1,8 см.

### Список літератури

1. Волик Б.А. Комбіноване ґрунтообробно-підкопуюче знаряддя для присадибних ділянок / Б.А.Волик, О.С.Гаврильченко, С.М.Друздь : Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Вип. 75. – Том 1. «Механізація сільськогосподарського виробництва. – Харків, 2008. – С.142-148.

2. Євтушенко В. Strip-till в Україні на прикладі СТОВ «Дружба-Нова» / В. Євтушенко. – // The Ukrainian Farmer. – К. : ТОВ "АГП Медіа", 2012. - № 9. – С. 99-100

3. Жолобецький Г. Тернистий шлях "стрип-тіллу" / Г. Жолобецький. – // Пропозиція : укр. журн. з питань агробізнесу. – 2013. – N 11. – С. 58-60

4. Кобець А.С. Ґрунтообробні машини: теорія, конструкція, розрахунок: монографія / А.С.Кобець, Б. А. Волик, А. М. Пугач. – Дніпропетровськ: Видавництво «Свідлер А.Л.», 2011. – 140 с.

5. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: навч. Посібник / [Кобець А. С., Іщенко Т. Д., Волик Б. А., Демидов О. А.]. – Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2009. – 84 с.

6. Панченко А.Н. Теорія измельчення почв почвообробувальними оруддями / А.Н. Панченко. – Дніпропетровськ: ДГАУ, 1999. – 140 с.

7. Юрчук В. П. До питання обґрунтування форми профілю знаряддя для смугового основного обробітку ґрунту / В. П. Юрчук, В. І. Ветохін // Прикладна геометрія та інженерна графіка: Праці / Таврійська державна агротехнічна академія. – Мелітополь: ТДАТУ, 2009. Вип. 4, Т. 44. – С. 3-8.

**Анотація.** В статтю представлені результати аналітичних досліджень, направлених на обґрунтування конструктивних параметрів почвообробувального агрегата для роботи в системі полосного земледілля Strip-Till. Особливістю конструкції заключається в тому, що оброблювана і необроблювана полоси розділені механічно на глибину розповсюдження ліній скола від долота робочого органу. Другою особливістю - розрыхлення ґрунту происходит в просторі між стойками робочого органу, стойки якого проходять в зоні тріщини оброблення, то єть працюють в деблокованому режимі. що суттєво зменшує тягове сопотивлення.

**Summary.** The article presents the results of analytical studies aimed at cultivating study design parameters of the unit to work in the farming system band Strip-Till.

Feature of a design is that the processed and not processed strips are divided mechanically into depth of distribution of lines of a chip from a chisel of working body. The second feature - a loosening of the soil occurs in space between racks of working body which racks pass in a zone an education crack, that is work in the deblocked mode. that significantly reduces traction resistance.

Стаття надійшла до редакції 26 серпня 2015 р.