

УДК 631.31

Ветохін В., д-р техн. наук, **Гетьман О.**, канд. техн. наук, **Білицка Н.**, канд. техн. наук (НТУУ «Київський політехнічний інститут»), **Знова Л.**, аспірантка (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого)

Аналіз співвідношення тягового опору та заглиблюючої сили ґрунтообробного клину стосовно робочих органів різного типу

Проаналізовано розбіжність між теоретичним значенням співвідношення тягового опору та заглиблюючої сили для робочих органів різного типу. Зазначену розбіжність теоретично пояснено впливом фізико-механічних явищ при впровадженні ріжучої крайки в моноліт ґрунту. Підвищення енергетичної ефективності знаряддя, та одночасно його здатності заглиблюватись, може бути досягнуто за рахунок оснащення робочого органу долотом, що проілюстровано на прикладах робочих органів відомих ґрунтообробних знарядь.

Ключові слова: ґрунтообробний клин, тяговий опір, заглиблююча сила, енергетична ефективність, долото-подібні, ножеподібні робочі органи.

Суть проблеми. Можливість удосконалення робочих органів ґрунтообробних знарядь у значній мірі визначається рівнем відповідності теоретичних уявлень про механізм їх взаємодії з ґрунтом та реальних процесів. На думку академіка В.П. Горячкина,

«Несмотря на чрезвычайное разнообразие разного рода сельхозорудий, ... форма орудий сводится к простой схеме, а именно к клину» [1, с. 161]. Однак далеко не всі питання механізму взаємодії клина й ґрунту знайшли достатнє пояснення. Одне з таких питань – це

закономірності співвідношення сили тягового опору та вертикальної складової сил, що викликає заглиблення знаряддя в ґрунт. Зазначене співвідношення визначає важливі показники роботи знаряддя – стійкість ходу знаряддя на глибині обробітку, а також міру енергетичної ефективності робочих органів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Одним з перших необхідність визначення співвідношення вертикальної і поздовжньої складових опору робочих органів для визначення рівноваги знарядь обґрунтував Г.М. Синеоков [2, с.181]. Він пише: «Вместо проведения длительных опытов по определению абсолютных значений слагающих реактивного сопротивления почвы ... достаточно знать пределы возможных изменений коэффициентов m и n для основных форм рабочих органов и элементарных клиньев на резко отличных типах почв ... Располагая значениями m и n , а также используя данные обычного линейного динамометрирования, можно производить определение величины сил R_y и R_z по силе R_x , имея при этом в виду, что $R_z = mR_x$ и $R_y = nR_x$ ».

Величина коефіцієнтів m і n має значення не лише для питань рівноваги та стабільності ходу знарядь, але й з погляду енергетичної ефективності робочих органів.

Як відомо, в процесі руху ґрунтообробного клину виникає сукупність сил опору, які, виходячи з існуючих уявлень про механіку взаємодії ґрунтообробного клина й ґрунту, можливо замінити результуючою силою R . Сила R може бути представлена як результат дії складових – горизонтальної R_x та вертикальної R_z (рис. 1).

Горизонтальна складова R_x (сила тягового опору) еквівалентна затратам роботи на виконання технологічного процесу. Дія складової R_z приводить до заглиблення знаряддя. Сила P_2 , протилежна силі R_z , виконує значну частину корисної роботи у розпушенні та кришенні ґрунту. Таким чином, співвідношення зазначених сил значною мірою характеризує енергетичну ефективність, тобто ККД ґрунтообробного клину.

Дія тертя на робочій поверхні викликає відхилення рівнодіючої сил опору R від нормалі до поверхні клина убік напрямку його руху на кут φ тертя ґрунт-метал. Відносно горизонталі рівнодіюча R буде нахилена на кут ψ , який може бути визначений із залежності [4, с.62]:

$$\psi = 90^\circ - (\beta + \varphi). \quad (1)$$

В свою чергу:

$$\operatorname{tg} \psi = R_z / R_x = m, \quad (2)$$

де R_z – вертикальна складова рівнодіючих сил опору різанню; R_x – горизонтальна складова рівнодіючих сил опору різанню.

Значення співвідношення m , виходячи із залежності (2), для клина з кутом кришення $\beta = 17^\circ \div 30^\circ$ за середнього значення кута тертя ґрунт-метал $\varphi = 23^\circ \div 26^\circ$ буде знаходитись в діапазоні $0,81 \div 1,19$. Це значення співвідношення m можливо вважати як теоретичне, виходячи із загально визнаної моделі клину (див. рис. 1).

Однак, наприклад, за даними Г.М. Синеокова, для долотоподібних робочих органів, зі збільшенням кута

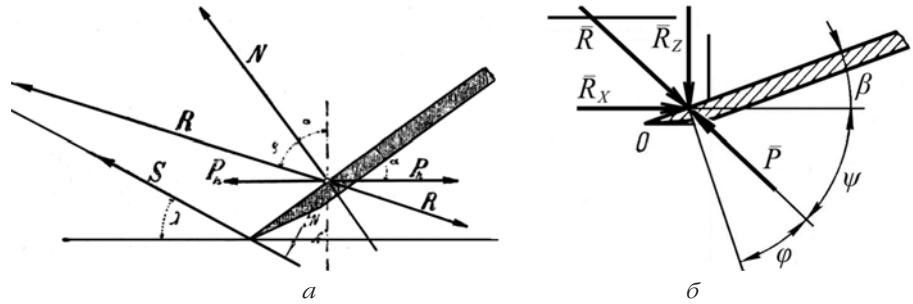


Рис.1 – Схема сил, що виникають під час взаємодії ґрунту та клину: а – за Т.М. Гологурским [3, с. 201]; б – за Г.М. Синеоковым та І.М. Пановим [4, с. 55]

кришення β від 30° до 50° експериментально встановлене співвідношення $m = R_z / R_x = 0,57 \div 0,23$, при теоретичному значенні (за формулами (1) і (2)) $m = \operatorname{tg} \psi = 0,70 \div 0,27$ [4, с.61-62]. Різниця становить $17 \div 22\%$.

Л.А. Грачов і Г.М. Синеоков також проводили польові досліді з динамометрування стрілочних лап, що за нашою класифікацією [4] відносяться до робочих органів ножеподібного типу. «Как следует из этих данных, теоретическое значение m превышает опытное более чем в 2 раза» [5, с.73]. Розбіжність теоретичних і експериментальних даних Г.М. Синеоков пояснює наявністю в ґрунті кам'янистих включень і коріння рослин.

Таке пояснення не можна визнати достатнім, оскільки подібне значення співвідношення m відзначається також під час роботи глибокорозпушувачів та в умовах відсутності рослинних залишків.

Д.А. Глейберзон вивчав вплив наявності долот, що ними обладнують ножі (лемеші) розпушувача, на здатність знаряддя заглиблюватися в ґрунт (рис. 2) [6].

Встановлено, що: «... при наличии долот рыхлитель входил в почву на полную заданную глубину за более короткий путь перемещения агрегата, чем без долот. При угле крошения 20° этот путь сократился

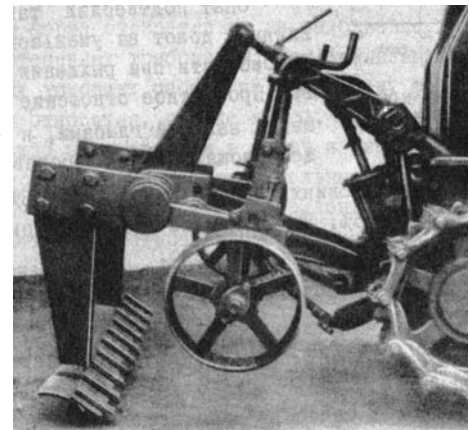


Рис. 2 – Вигляд установки для вивчення впливу наявності долот на здатність знаряддя заглиблюватися в ґрунт (за Д.А. Глейберзоном) [6]

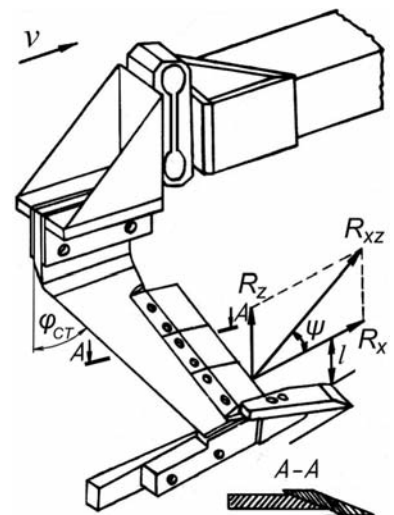


Рис. 3 – Схема робочого органа плуга-розпушувача, встановленого на октагональному тензометричному елементі для визначення його силових характеристик (за Д.А. Тряпициним) [8]



Рис. 4 – Вигляд експериментальних робочих органів чизельного плуга, оснащених S-подібним долотом

на 209 см, що становить около 60% потребного пути для заглиблення ножа при отсутствии долот. ... Проникнув под стерню, долота вызывают реакцию почвы, вертикальная составляющая которой направлена вниз» [6, с. 391].

В літературі є й інші дані про значення співвідношення $m = R_z/R_x$ для різних за типом і конструкцією робочих органів – наприклад, плоскоріза [7] та чизельного робочого органа плуга-розпушувача зі стоячком, нахиленим під різними кутами $\varphi_{ст}$ відносно поздовжньо-вертикальної площини [8] (рис. 3).

Як встановлено, найбільш близьке до ідеального клину значення показника m мали експериментальні робочі органи чизельного плуга, оснащени S-подібним долотом (рис. 4). Для робочих органів такої форми значення m становить 0,75-0,81 [9, с. 212].

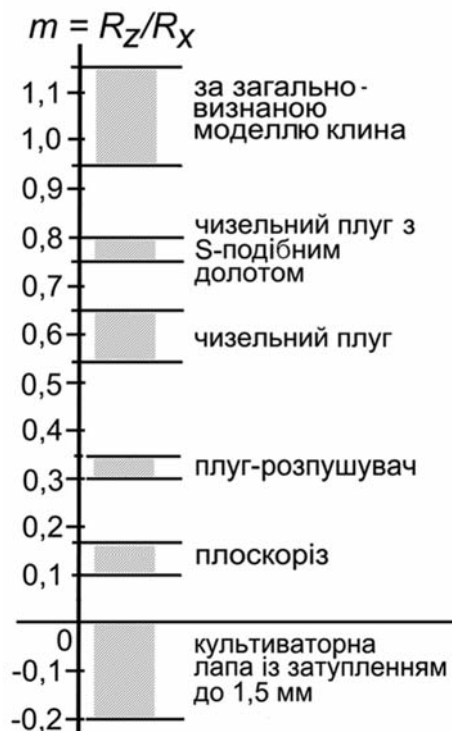


Рис. 5 – Значення співвідношення m вертикальної R_z і поздовжньої R_x -складових сили опору ґрунту для робочих органів різного типу [9, с. 155]

На запропонованій нами діаграмі [9] наочно представлено описані співвідношення (рис. 5).

Таким чином, за даними ряду досліджень [5-9], значення співвідношення m для робочих органів різного типу значно нижче теоретичного, виходячи із загальновизнаної моделі клина (див. рис. 5).

Мета дослідження – визначити відповідність форми робочих органів реаль-

них ґрунтообробних знарядь та явищ під час деформації шару ґрунту.

Виклад основного матеріалу. Т.М. Голгурский, відзначаючи циклічний характер процесу деформації ґрунту, розділяє його на дві фази: «Первая фаза охватывает отрезание пласта ...», коли «... орудие вдавливает близлежащие части почвы вглубь отрезанного пласта, что иногда ведет к незначительному изменению положения всего пласта». «Вторая фаза рассматриваемого процесса обработки охватывает перемещение пласта почвы» [3, с.143-144].

Академік В.П. Горячкин вважав, що: «Клин действует на обрабатываемый материал очень разнообразно, но сущность его работы заключается не в разрезании лезвием, как обычно принято думать, а в сжимании частиц, которое простирается на более или менее значительное протяжение, после чего образуется трещина ...» [1, с.169].

Стискання частинок ґрунту призводить до утворення на робочій поверхні тіла-посередника з переуцільненого ґрунту.

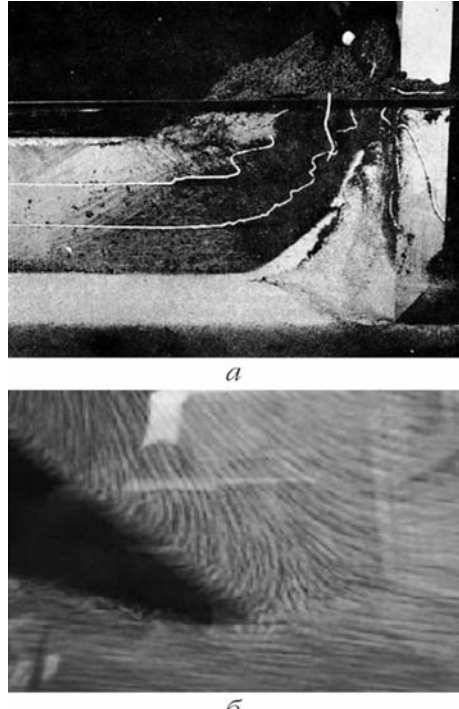


Рис. 6 – Деформація моделюючого ґрунту середовища під дією різального елемента: а – за W.R. Gill [10, с.29]; б – за В.В. Ауліним, В.М. Бобрицким та А.А. Тихим [11, с.9]

Картинна деформації ґрунту ріжучим елементом у вигляді верти-

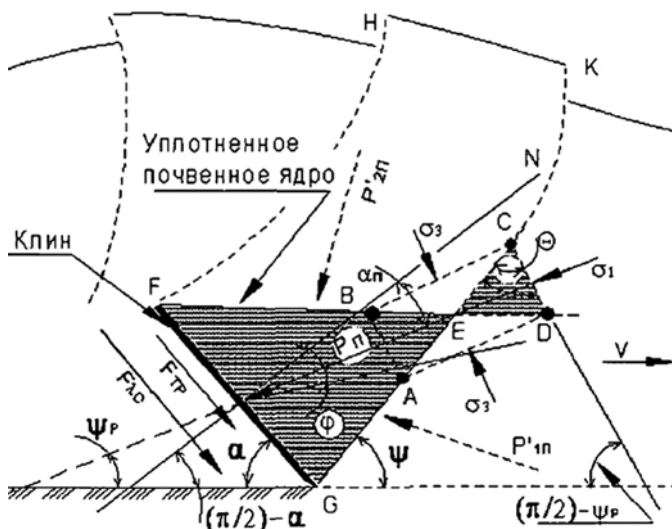


Рис. 7 – Схема процесу формування ґрунтового ядра й стружкоутворення під час різання ґрунту за О.С. Путриним [12, с. 288]

кального ножа наочно показує розмір і роль тіла-посередника в деформації шару ґрунту (рис. 6, а) [10, с. 29]. Моделювання деформації ґрунту клиноподібним ріжучим елементом також показує, що перед клином формується деяка "застійна" зона, на зовнішній межі якої відбувається деформація оброблюваного шару (рис. 6, б) [11, с. 9].

В останніх теоретичних дослідженнях – О.С. Путрина

[12], С.О. Сидорова [13] утворення та дія ущільненого ґрунтового ядра розглядається як один з основних елементів процесу взаємодії клина й шару ґрунту (рис. 7).

Таким чином, деформація оброблюваного шару, що викликає подолання межі міцності ґрунту в шарі й порушення його структури, відбувається не безпосередньо під дією клина Φ_1 , а під дією тіла-посередника з ущільненого ґрунту, тобто під дією проміжних поверхонь Φ_2, Φ_3 (рис. 8).

Тіло-посередник з ґрунту, у свою чергу, розділяється на кілька зон з різною інтенсивністю обміну ґрунтом з оброблюваним шаром. У роботі [15] це явище сформульоване як: «... образование системы, в которой часть обрабатываемого материала выполняет функцию динамически изменяющейся части рабочего органа».

ґрунтове тіло-посередник перебуває в стані динамічної рівноваги відносно вертикальної осі без виникнення сили, що заглиблює знаряддя, тобто $\sum R_z = 0$ (рис. 9).

Поява сили, що заглиблює знаряддя, тобто $\sum R_z \neq 0$ можливо в другій фазі впровадження клину в моноліт ґрунту, де відбувається підйом (переміщення) скиби ґрунту, або якщо положення S_c точки C відриву (початку зрушення-відокремлення) скиби зміщено від ріжучої крайки за напрямком руху скиби у бік робочої поверхні клину (див. рис. 9). Необхідно зазначити, що поширеною точкою зору є така, що поверхня зрушення-відокремлення скиби ґрунту проходить через ріжучу крайку клина (див. схему на рис. 7). Але такий погляд не відповідає більшості реальних режимів взаємодії знаряддя та ґрунту (рис. 10, б, в).

Суттєвого збільшення значення параметра S_c можна досягнути зменшенням

Рис. 8 – Схема взаємодії ґрунту і клина з урахуванням утворення тіла-посередника та проміжних «робочих» поверхонь Φ_2 і Φ_3 [9, 14]

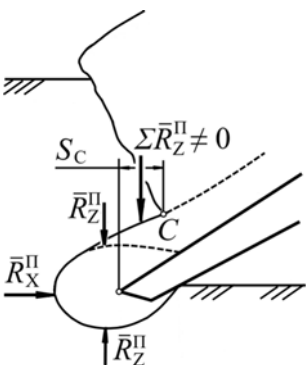


Рис. 9 – Схема впливу тіла-посередника та положення S_c точки C відриву шару ґрунту на розташування вертикальної складової $\sum R_z$ сили опору ґрунту

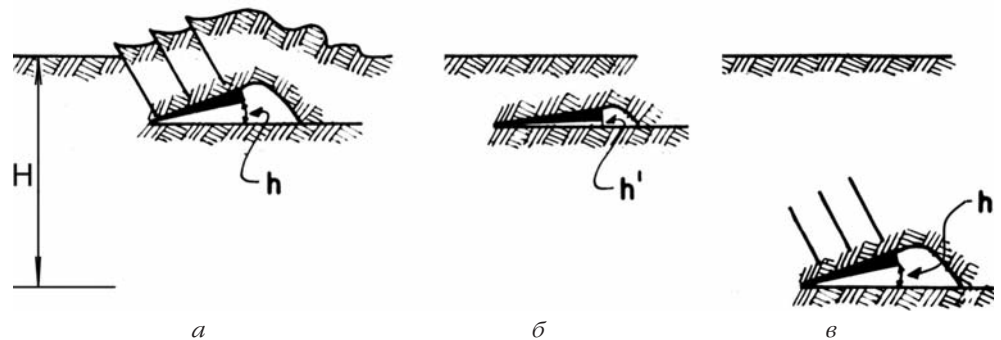
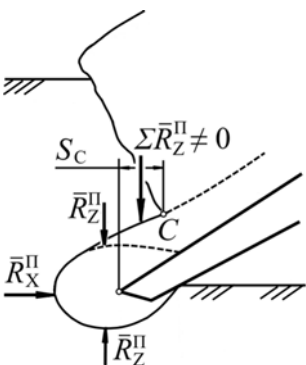


Рис. 10 – Схема взаємодії клина й ґрунту залежно від кута кришення, висоти клина й глибини обробітку ґрунту [10, с. 149]

кута постановки робочої поверхні відносно горизонту (кута кришення) (див. рис. 10, б) та зменшення висоти клина h відносно глибини обробітку ґрунту H (див. рис. 10, в).

Реалізація таких вимог в конструкції знаряддя ускладнена вимогами міцності та необхідністю розміщення несучих елементів робочого органа позаду лемеша-ножа або долота. Приклади реалізації: лита конструкція робочого органу, де суміщено робочу та несучу частини (рис. 11, а); застосування різного кута кришення на

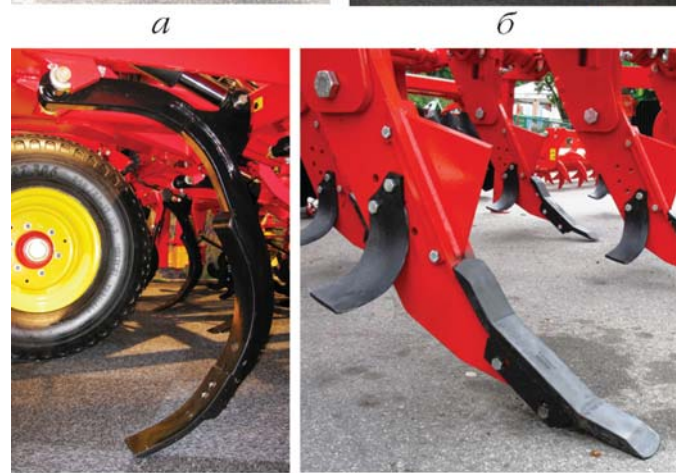


Рис. 11 – Робочі органи ґрунтообробних знарядь: а – Cultiplow фірми AGRISEM International; б – Karat фірми Lemken; в – Cultiplow фірми Vdderstad-Verken; з – ARTIGLIO фірми Maschio Gaspardo

різних ділянках робочої поверхні з мінімальним кутом впровадження-кришення біля ріжучої крайки. Останнє досягається за наявності S-подібної (див. рис. 4) або C-подібної форми поздовжнього профілю робочого органа (рис. 11, б, в, г).

Робочі органи долотоподібного типу мають максимальне значення співвідношення $m = R_z/R_x$ (див. рис. 5), тому для того, щоб забезпечити достатню здатність заглиблюватись, необхідно оснастити робочий орган знаряддя долотом (див. рис. 11, а). Такий захід водночас підвищує енергетичну ефективність знаряддя.

Висновки. Аналіз співвідношення сили тягового опору і сили, що призводить до заглиблення знаряддя, показує, що його значення в 2-5 разів менше теоретичного (відповідно до загальноновизнаної моделі ґрунтообробного клину) та суттєво відрізняється для ножеподібних і долотоподібних робочих органів. Це розходження пояснюється фізико-механічними явищами під час впровадження передньої крайки робочого органу в моноліт ґрунту, в тому числі утворенням тіла-посередника з переуцільненого ґрунту. Тіло-посередник з переуцільненого ґрунту перебуває в динамічній рівновазі відносно вертикальної осі, що визначає співвідношення поздовжньої сили (тяговий опір) і вертикальної (сили заглиблення) складових опору робочих органів.

Підвищення енергетичної ефективності знаряддя та водночас його здатності заглиблюватись можна досягнути за рахунок оснащення робочого органа долотом, а також зменшення кута кришення передньої частини робочої поверхні. Реалізація зазначених заходів чітко простежується в конструкціях відомих робочих органів.

Подальші дослідження потрібно спрямувати на більш детальне вивчення процесу взаємодії ґрунтообробного знаряддя з ґрунтом і визначення його кількісних характеристик стосовно робочих органів долотоподібного та ножеподібного типів.

Список літератури

1. Горячкин В.П. Общая теория орудий / В.П. Горячкин // Собр. соч. в 7 т. – М.: Сельхозгиз. – 1937. – Т. 2. Земледельческая механика. – С.161-181.
2. Синеоков Г.Н. Экспериментальное определение сопротивления рабочих органов плугов и культиваторов / Г.Н. Синеоков // Почвообрабатывающие машины: Сборник НИР ВИСХОМ. – М.: Машгиз. 1946. – Вып.4, – С.180-234.
3. Гологурский Т.М. Технологические процессы в почве при ее обработке / Т.М. Гологурский; пер. с нем.; под ред. М.Х. Пигулевского. – Петроград: Тип. М.П. Фролова, 1916. – 221 с.
4. Синеоков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.
5. Ветохин В.И. Систематизация рабочих органов для рыхления почвы на основе физики процесса / В.И. Ветохин // Техніка АПК. – 2008. – № 9-10. – С. 21-25.
6. Глейберзон Д.А. Экспериментальные исследования рыхлителя с переменным углом крошения для обработки почв, подверженных ветровой эрозии / Д.А. Глейберзон // Состояние и перспективы развития почвообрабатывающих машин, фрез и культиваторов: Материалы НТС ВИСХОМ. – М.: ОНТИ ВИСХОМ. – 1968. – Вып. 25. – С.388-394.

7. Фендер П.Э. Экспериментальное исследование нагрузок на рабочие органы широкозахватного культиватора-плоскореза КПШ-5 / П.Э. Фендер // Исслед. и разраб. почвооб. и посевных машин: Сб. науч. тр. ВИСХОМ. – М.: ВИСХОМ, 1988. – С. 80-85.

8. Тряпицин Д.А. Обоснование параметров чизельного рабочего органа с наклонной в поперечно-вертикальной плоскости стойкой / Д.А. Тряпицин // Исслед. и разраб. почвооб. и посевных машин: Сб. науч. тр. ВИСХОМ. – М.: ВИСХОМ, 1988. – С. 61-70.

9. Ветохин В.И. Системные и физико-механические основы проектирования рыхлителей почвы: Дис. ... д-ра техн. наук: / В.И. Ветохин; НТУУ «Киевский политехнический институт», ОАО «ВИСХОМ». – К.-М., 2010. – 284 с.

10. Gill W.R. Soil dynamics in tillage and traction / W.R. Gill, G.E. Vanden Berg. – Washington: Agricultural Research Service US department of Agriculture – 1967. – 511 p.

11. Аулін В.В. Напружено-деформований стан ґрунту при його взаємодії з різальними елементами робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, В.М. Бобрицкий, А.А. Тихий // Науковий вісник Луганського НАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ. – 2010, №3. – С.6-17.

12. Путрин А.С. Основы проектирования рабочих органов для рыхления почв, находящихся за пределами физически спелого состояния: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / А.С. Путрин; Оренбургский ГАУ. – Оренбург, 2003, 460 с.

13. Сидоров С.А. Повышение долговечности и работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий, применяемых в сельском и лесном хозяйствах: Дис ... д-ра техн. наук. спец 05.20.01, 05.21.01 / С.А. Сидоров. – М.: ВИСХОМ, 2007. – 441 с.

14. Ветохин В.И. О динамике формы поверхности рабочих органов почворыхлителей / В.И. Ветохин // Тракторы и с.х. машины. – 2010, – № 6, – С. 30-35.

15. Ветохин В.И. К вопросу разработки системной модели крошения пласта почвы / В.И. Ветохин // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – Вип. 10. – Т. 7. – С. 245-252.

Аннотация. Проанализировано расхождение между теоретическим значением соотношения тягового сопротивления и заглабляющей силы для рабочих органов разного типа. Указанное расхождение теоретически объяснено влиянием физико-механических явлений при внедрении режущей кромки в монолит почвы. Повышение энергетической эффективности орудия, и одновременно его способности заглабляться, может быть достигнуто за счет оснащения рабочего органа долотом, что проиллюстрировано на примерах рабочих органов известных почвообрабатывающих орудий.

Summary. Analyzed the difference between the theoretical value of the ratio of traction resistance and strength to deepened the working bodies of different types. Referred discrepancies are theoretically explained by the influence of physical mechanical phenomena when entering the cutting edge in the soil monolith. Increased energy efficiency implements, and its ability to simultaneously deepens, can be achieved by equipping the working body of the chisel, as illustrated by examples of working bodies of known tillage tools.

Стаття надійшла до редакції 4 червня 2012 р.