

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

ХАРЧУК ІГОР ПАВЛОВИЧ

УДК 631.312.021.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ НАВІСНИХ
ЛЕМІШНО-ПОЛИЦЕВИХ ПЛУГІВ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ **І. П. Харчук**

Керівник роботи

Заєць М. Л.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Харчук Ігор Павлович. Обґрунтування та розрахунок параметрів навісних лемішно-полицевих плугів. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

В представленій роботі виконано аналіз конструкцій та техніко-експлуатаційних параметрів лемішно-полицевих плугів. На основі останніх досягнень в даній галузі проведено дослідження компоновочних схем плугів загального призначення, способів агрегування та експлуатації.

Обґрунтовано конструкційно-технологічну схему навісного плуга для тракторів тягового класу 3. Спроековано робочу циклоїдальну поверхню корпусу плуга та проведено розрахунок тягових показників машини на основі її силового аналізу. Теоретично та графо-аналітично визначено геометричні та конструкційні параметри корпусу та передплужника та інших робочих органів. На основі отриманих даних визначено параметри системи навіски плуга та точки з'єднання з гідронавісним обладнанням тракторів тягового класу 3-5.

Визначено теретичну залежність зусилля на гаку трактора та тяговим опором навісного плуга. Встановлено співвідношення між кінематичними показниками трактора та сумарною рівнодіючою реакцією ґрунту, митєвий центр обертання плуга в двох площинах, що дозволило встановити плуг відносно трактора з дотриманням умови рівноваги у повздовжньо-горизонтальній та повздовжньо-вертикальній площинах.

Ключові слова: *лемішно-полицевий плуг, циклоїдальна поверхня, реакція ґрунту, тяговий опір, корпус, рама.*

ANNOTATION

Kharchuk Igor. Substantiation and calculation of parameters of mounted plow-shelf plows. - Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in 208 Agroengineering. - Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

In the presented work the analysis of designs and technical and operational parameters of ploughshare-shelf plows is executed. On the basis of the latest achievements in this field the research of layout schemes of plows of general purpose, methods of aggregation and operation is carried out.

The structural and technological scheme of the mounted plow for tractors of traction class 3 is substantiated. Theoretical and graph-analytical determined geometric and structural parameters of the body and plow and other working bodies. Based on the obtained data, the parameters of the plow hitch system and the connection point with the hydraulic equipment of tractors of traction class 3-5 were determined.

The theoretical dependence of the force on the tractor hook and the traction resistance of the mounted plow is determined. The relationship between the kinematic parameters of the tractor and the total equivalent reaction of the soil, the instantaneous center of rotation of the plow in two planes, which allowed to install the plow relative to the tractor in equilibrium in the longitudinal-horizontal and longitudinal-vertical planes.

Key words: *ploughshare-shelf plow, cycloidal surface, soil reaction, traction resistance, plow body, frame.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1	
АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ЛЕМІШНО-ПОЛИЦЕВИХ ПЛУГІВ ДЛЯ АГРЕГАТУВАННЯ З ТРАКТОРАМИ ТЯГОВОГО КЛАСУ 30...80 кН.....	8
РОЗДІЛ 2	
ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ КОРПУСА ТА КОМПОЗИЦІЙНОЇ СХЕМИ НАЧІПНОГО ПЛУГА	
2.1. Побудова циліндроїдальної робочої поверхні плужного лемішного корпусу.....	13
2.2. Побудова схеми начіпного лемішного плуга й аналіз сил, що діють на нього.....	18
РОЗДІЛ 3	
РЕЗУЛЬТАТИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СПРОЕКТОВАНОГО НАВІСНОГО ПЛУГА.....	25
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	32

ВСТУП

Актуальність теми. Основна частина витрат енергії у виробництві сільськогосподарської продукції припадає на основний обробіток поверхні з обертанням шару ґрунту . На оранку 1 га витрачається до 20...30 кг палива. Від якісного основного обробітку ґрунту на пряму залежить врожайність с.-г. культур. Для проведення основного обробітку ґрунту поряд з лемішно- полицевими плугами широко застосовують глибокорозпушувачі, дискатори, важкі дискові борони, а також ріпери. При намаганні відмовитись від традиційної оранки ґрунту на користь нульового чи мінімального обробітку, посушливі останні роки вимагали проведення полицевого обробітку ґрунту, і відповідно, виникала потреба модернізувати машини та технології виконання. На сьогоднішній день при оранці в основному використовують вітчизняні та закордонні навісні та напівнавісні оборотні лемішно-полицеві плуги в агрегаті з тракторами тягових класів 3-8 потужністю до 360 кВт (Агро-Велес, ПЛН, Lemken, Kverneland, Gregoire Besson, Kuhn тощо.). За останні роки збільшився імпорт іноземної сільськогосподарської техніки, в тому числі і плугів. При цьому в умовах недостатньої кількості енергонасичених тракторів власного виробництва потужністю понад 250 кВт, які потрібно використовувати для агрегаткування з даними машинами вони теж імпортуються. Таким чином, тема роботи удосконалення технології основного обробітку ґрунту і розробка лемішно-полицевих плугів загального призначення, здатних агрегатуватись з тракторами великої потужності, що значно зменшить частку імпорту в країну, є досить актуальною.

Мета роботи - підвищення конструкційно-експлуатаційних параметрів навісного плуга шляхом проектування і удосконалення його робочих органів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні **задачі**:

- провести аналіз існуючих компоновочних схем лемішно-полицевих плугів загального призначення;

- спроектувати робочу поверхню корпусу плуга, конструкційно-технологічну схему і основні параметри навісного лемішно-полицевого плуга загального призначення;
- теоретично визначити експлуатаційно-технологічні показники спроектованого орного агрегату.

Об'єкт дослідження: технологічний процес лемішно-полицевого основного обробітку ґрунту.

Предмет дослідження: залежність експлуатаційно-технологічних показників від конструкційно-компоновочних параметрів плуга.

Методи дослідження. Аналіз механіко-технологічних властивостей ґрунтів, теоретичні та графо-аналітичні методи проектування та розрахунку робочих органів ґрунтообробних машин із застосуванням методів фізичного та числового імітаційного моделювання в землеробській механіці.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

1. Заєць М. Л. Визначення основних параметрів лемішно-полицевої поверхні корпусу навісного плуга / М. Л. Заєць, І. П. Харчук // Наукові читання–2020Б: науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики, 5-6 березня 2020 р. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. С. 152-157.
2. Заєць М. Л. Обґрунтування схеми втонювання навісного плуга й аналіз сил, що діють на нього / М. Л. Заєць, І. П. Харчук // Біоенергетичні системи: Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи». Частина 2, 29 травня 2020 р. Житомир: Поліський національний університет, 2020. С. 129-133.
3. Заец М. Л. Обоснование параметров рабочей поверхности корпуса плуга / М. Л. Заец, И.П. Харчук, В.О. Татуревич // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сборник научных статей Международной научно-

практической конференции (Минск, 26–27 ноября 2020 года) /редкол.: Н. Г. Серебрякова [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2020. с. 179 -182.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження використані при вдосконаленні конструкційно-компоновочних схем лемішно-полицевих плугів загального призначення. За результатами проведених розрахунків і проектування робочих органів плугів зроблено рекомендації щодо модернізації робочих поверхонь та способів регулювання положення навісних машин за умови рівноваги їхнього руху при різній глибині обробітку.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 19 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 33 сторінки комп'ютерного тексту, містить 2 таблиці та 15 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ЛЕМІШНО-ПОЛИЦЕВИХ ПЛУГІВ ДЛЯ АГРЕГАТУВАННЯ З ТРАКТОРАМИ ТЯГОВОГО КЛАСУ 30...80 кН

При використанні плугів з високопотужними тракторами в даний час масово в Україну імпортуються навісні та напівнавісні плуги закордонних виробників Німеччини фірма Lemken (рис. 1.1), Норвегії - Kverneland (рис. 1.2.), Франції - Kuhn, Gregoire Besson (рисунок 1.3) [1,2,3,4.].

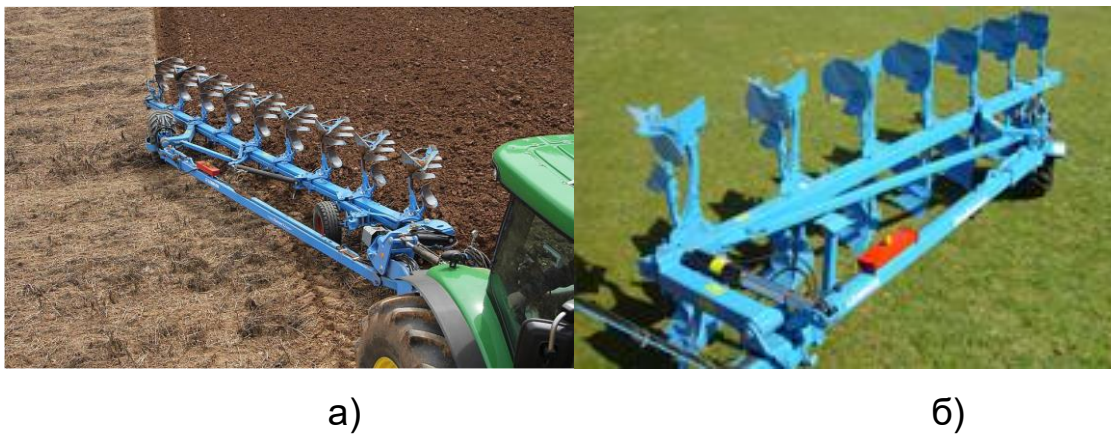


Рис. 1.1. - Напівнавісний плуг плуг Lemken Diamant 12 виконаний за схемою з опорою на колесо

Ці плуги в основному представлені в оборотному виконанні. Оборотні плуги призначаються для гладкої оранки без гребнів і розгінних борізен. На рамі плуга встановлені дзеркально право- і ліво- обертаючі корпуси. Під час розвороту на наступний хід плуг перевертається іншою стороною і обертає ґрунт в ту ж сторону [1]. Для забезпечення повороту рами плуга на наступний хід в конструкції застосовано оборотний пристрій, який приводиться в дію від гідросистеми трактора (рис. 1, б) [1]. У варіантному виконанні ці плуги оснащуються системою регулювання ширини захвату, за рахунок зміни кута установки основного бруса рами в межах 25...32 °.

Навісні плуги, на які встановлюється до семи корпусів, призначені для агрегатування з тракторами тягового класу 5 (рис. 1.2.) [4].



Рис. 1.2. Навісний семикорпусний оборотний плуг Gregoire Besson
HRP-7

В роботі сучасні напівнавісні обертові плуги спираються на опорне колесо (рис. 1.1, а) або на візок (рис 1.3, а,б.). За першою схемою компонуються п'ятидесятикорпусні плуги, по другій – восьми - чотирнадцятикорпусні плуги.



а)

б)

Рис. 1.3. Напівнавісний плуг Kverneland PW і Lemken Euro Titan
виготовлений по схемі з опорним візком

Опорний візок в робочому положенні рухається одним колесом по полю, другим - в борозні, значно ущільнюючи її дно (рис. 1.3.) [1, 2].

У таблицях (1,2.) наведені характеристики основних закордонних виробників плугів призначених для агрегування з енергонасиченими тракторами потужністю від 330 до 600 к.с. [1, 2,3,4]

Таблиця 1.

Технічні характеристики плугів іноземного
виробництва для агрегування з тракторами тягового класу 8

Виробник	Gregoire Besson	Lemken	Kverneland
Серія	SPSL9-SPEL9	Euro Titan /Vari Titan	PW-RW
Тип	напінавісний, оборотній з опорним візком	напінавісний, оборотній з опорним візком	напінавісний, оборотній з опорним візком
Потужність двигуна трактора, кВт	До 340	До 330	350
К-сть корпусів	7-13	9-12	7-14
Положення трактора	по полю	по полю	по полю
Ширина захвату, м	2,10-6,5	4,2-7,0	2,45-6,3

З табл. 1.2. видно, що більшість іноземних плугів представлених на ринку, призначені для агрегування з тракторами тягових класів 5 і 6, вони мають до 10 корпусів. Ці плуги представлені в навісному (рис. 1.2.) і напівнавісному виконанні (рис. 1.3, а, б.). Трактор рухається як в борозні, так і по полю. Навісні плуги випускаються шириною захвату не більше 3,5 м.

Виготовляються широкозахватні плуги 10-14 корпусів, які призначені для агрегування з тракторами тягового класу 8. Ці плуги виконані в основному напівнавісному оборотному виконанні. Основний брус рами встановлений під кутом 27-30 °. Відстань між корпусами 0,9 ... 1,1 м. Трактор рухається по полю (табл. 1.2.).

Таблиця 1.2.

Технічна характеристика оборотніх плугів, які агрегатуються з тракторами класу 6

Виробник	Kverneland			Gregoire Besson		Lemken			Kuhn	
Серія	EO -LO	PN -RN	PW -RW	HRP-7 /HRW- 9	SPMF9/ SPML9	Euro Titan /Vari Titan	Euro Opal9 /Vari Opal 9	Juwel	Multi- Master	Challenge r
Тип	Навісний, оборотний	Напівначінний, оборотний з опорним колесом	Напівначінний, оборотний з опорним візком	Навісний, оборотний	Напівначінний, оборотний з опорним колесом	Напівначінний, оборотний з опорним візком	Навісний, оборотний	Навісний, оборотний	Навісний, оборотний	Напівначінний, оборотний з опорним візком
Кількість корпусів	4-7	5-9	7-14	5-7	6-9	9-12	3-7	3-7	2-7	7-12
Положення рушіїв трактора	В борозні/по полю	В борозні	В борозні/по полю	В борозні/по полю	В борозні/по полю	По полю	В борозні	В борозні	В борозні	В борозні/по полю
Конструктивна ширина захвату, м	1,2-3,5	1,75-4,05	2,45-6,3	1,8-3,5	2,1-4,5	2,7-6,6	0,9-3,15	0,9-3,15	2,45-3,5	2,45-5,4
Потужність двигуна трактора	180-240	Від 120	160-330	90-245	155-250	від 120	80-230	66-232	42-198	180-330

У плугів гібридної конструкції напівнавісний оборотний плуг агрегатується з додатковим транспортним модулем, який має свою гідравлічну систему для підйому плуга в транспортне положення, модуль в свою чергу агрегатується з трактором в причіпному варіанті. При перекиданні в транспортне положення плуг піднімається за рахунок власної гідросистеми і гідроциліндрів модуля. До недоліків цього способу агрегування можна віднести значне збільшення довжини знаряддя і зниження маневреності агрегату. Довжина плуга Lemken Titan становить 20 м [1].

Висновки до розділу 1

З вище наведеного можна зробити наступні висновки, що в даний час навісні, напівнавісні та причіпні (гібридні) плуги мають виконання у вигляді оборотної Z – подібної рами. Робочі органи машин виконані однотипно з різними геометричними параметрами, тобто шириною захвату корпусу, типом робочої поверхні полиці та його кутами різання, кришіння і зсуву скиби.

До недоліків оборотних плугів можна віднести: велику габаритну довжину, металоємність конструкції, високу вартість, наявність великої кількості складних систем і шарнірів, які зменшують експлуатаційну надійність, що дає можливість продовжувати удосконалювати лемішно-полицеві плуги.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ КОРПУСА ТА КОМПОНОВОЧНОЇ СХЕМИ НАЧІПНОГО ПЛУГА

2.1. Побудова циліндроїдальної робочої поверхні плужного лемішного корпусу

Побудову поверхні починаємо з креслення умовної схеми переміщення скиби під дією корпусу плуга. Для цього побудуємо переріз скиби ABCD за заданим параметрами a і b (рис. 2.1). Потім будуємо кінцеве положення скиби, враховуючи, що переріз скиби в своєму послідовному переміщенні спочатку повертається відносно грані D, а після того, як він набуде вертикального положення, повертається відносно грані C_1 . Для цього грань B_1 повертається відносно грані C_1 до суміщення з горизонтальною лінією, проведеною на відстані a від дна борозни. На цій лінії повинні знаходитись ребра B_1 усіх повернутих скиб. За знайденим положенням грані B_1 проводимо грань скиби $B_1 C_1$ і на ній будуємо прямокутник $A_1 B_1 C_1 D_1$, сторони якого відповідають заданому перерізу скиби [5, с. 48-69, 6, с. 56-70.].

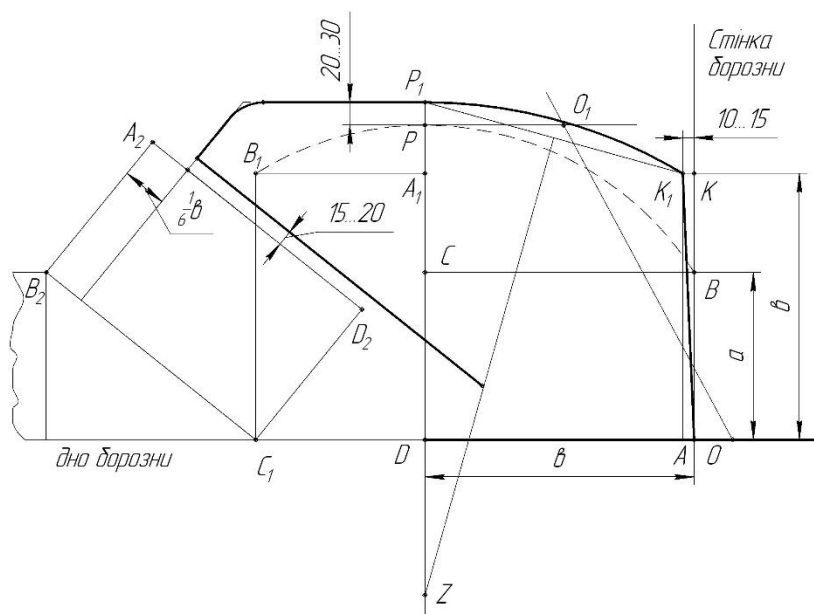


Рис. 2.1. Побудова фронтальної проекції

Після виконання перерізу повернутої скиби наносимо контури робочої поверхні корпусу на фронтальній площині, керуючись при цьому наступним: при рухові скиби по полиці її грань В описує дугу радіусом DB, рівним діагоналі скиби (рис.2.1). Так як при русі по робочій поверхні полиці скиба кришиться, то для запобігання пересипанню частинок ґрунту через край полиці верхній обріз її проводимо вище цієї дуги на 20...30 мм технологічно. Відмітимо верхню точку полиці Р проведемо через неї горизонтальну пряму. Польовий обріз полиці розташовуємо в поздовжньо-вертикальній площині, розташованій на віддалі 10..15 мм від стінки борозни (від грані АВ скиби), що необхідно для виключення задирів стінки борозни краєм полиці (рис.2.1). Висоту польового обрізу полиці приймаємо рівною ширині скиби ϵ . Верхню його точку К з'єднаємо дугою з верхньою точкою полиці Р. Для визначення центра дуги слід використати метод перпендикулярів. Точки Р і К з'єднати прямою лінією, до центра утвореного відрізка РК прикласти перпендикуляр і знайти точку його перетину з продовженням лінії PD. Отриману дугу КР приймаємо за верхній обріз полиці. Борозенний обріз полиці проводимо паралельно грані A_1D_1 відваленої скиби з зазором 15...20 мм, щоб запобігти задиранню скиби полицею. Виліт крила полиці обмежуємо прямою, розташованою на віддалі $1/6 \epsilon$ від грані A_1B_1 скиби. Дуга виписується між трьома прямими - верхнім обрізом полиці, борозневим обрізом крила і нормаллю до грані скиби A_1D_1 .

Лезо леміша яке підрізає скибу знизу, розташовуємо в площині дна борозни. Ширину захвату леміша приймаємо рівною ширині скиби ϵ . Для побудови лінії стику леміша з полицею необхідно побудувати направляючу криву, яка є перерізом робочої поверхні вертикальною площиною, перпендикулярною лезу. За направляючу криву в найпростішому випадку можна прийняти, частину кола, центр якого знаходиться на висоті діагоналі скиби ($\sqrt{a^2 + \epsilon^2}$) від дна борозни (рис.1.2). Радіус і розташування центра цього кола легко визначити, так як кут нахилу леміша до дна борозни відомий (ϵ_0).

Для побудови кола з правої сторони від вертикальної проекції поверхні (рис.2.2) вибираємо на лінії дна борозни точку O і з неї проводимо пряму під кутом ε_0 до дна борозни. Потім ставимо перпендикуляр з точки O до прямої, проводимо його до перетину з горизонталлю, проведеною на висоті діагоналі скиби, знаходимо точку O_1 яка і є центром направляючої кривої, а відрізок $O-O_1$ - її радіусом. Радіусом $O-O_1$ описуємо дугу кола з центром в точці O_1 і на ній відкладаємо ширину лемеша $0N$ рівну 122 мм (рис.2.3) [7 с. 36-45.].

Через точку N проводимо горизонтальну лінію, яка на фронтальній проекції робочої поверхні є лінією стику лемеша з полицею.

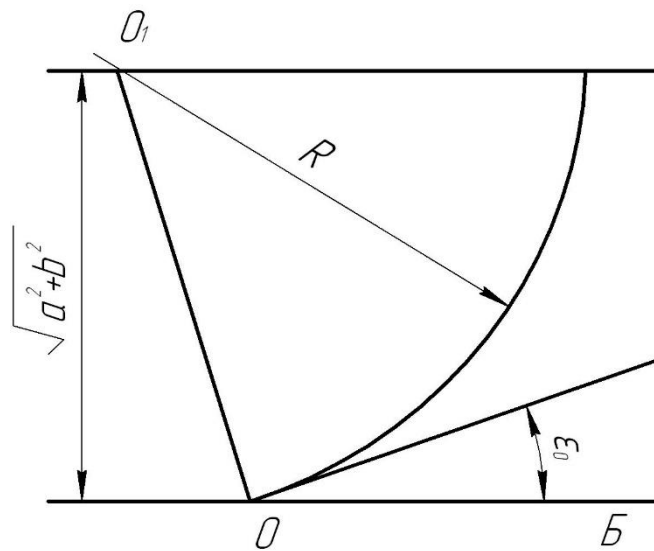


Рис. 2.2. Побудова направляючої кривої

Борозенний обріз леміша на фронтальній проекції обмежуємо прямою, яка з'єднує кінець лінії стику з кінцем леза леміша. Проведенням лінії стику і борозного обрізу леміша закінчуємо побудову контура робочої поверхні корпусу на фронтальній площині проекцій.

Для побудови проекцій необхідно перш за все намітити ряд положень твірної на фронтальній площині проекцій. Для цього через характерні точки фронтальної проекції поверхні проводимо ряд горизонтальних прямих, які являють собою проекції твірної в її різних положеннях. Характерними ділянками (точками) фронтальної проекції є лезо леміша, лінія стику його з полицею, точка

перетину кривої польового обрізу з кривою верхнього обрізу полиці, центр направляючої кривої, верхня точка краю полиці.

Побудову горизонтальних проекцій твірної починаємо з лека леміша. Розташуємо горизонтальну проекцію носка леміша на 15...20 мм вище нижнього краю креслення, проведемо нульову проекцію твірної під кутом γ_0 до стінки борозни[5, с. 48-69, 6, с. 56-70.]. При побудові доцільно користуватись діаграмою тангенсів. Відкладаємо від проекції носка вгору вертикальний відрізок прямої, рівний в масштабі тангенсів $\text{tg } 45^\circ(100 \text{ мм})$, проведемо через кінець відрізка горизонтальну пряму і відкладемо на ній величину $\text{tg } \gamma_0$, взятую з діаграми тангенсів. З'єднаємо кінець відкладеного відрізка з проекцією носка леміша прямою і отримаємо нульову проекцію твірної, яка проходить під заданим кутом γ_0 до стінки борозни[13 с. 154.]. Потім будуємо третю, бокову проекцію. Бокова проекція поверхні будується за проекціями твірної і по першим двом проекціям робочої поверхні в відповідності з правилами нарисної геометрії (рис.2.3.).

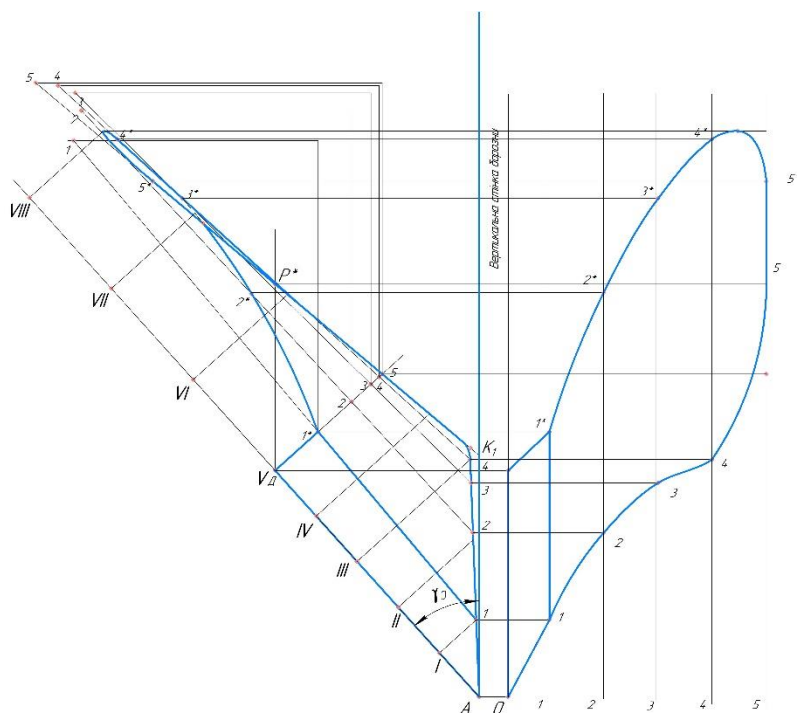


Рис. 2.3. Побудова горизонтальної і бокової проекцій робочої циліндроїдальної поверхні корпусу

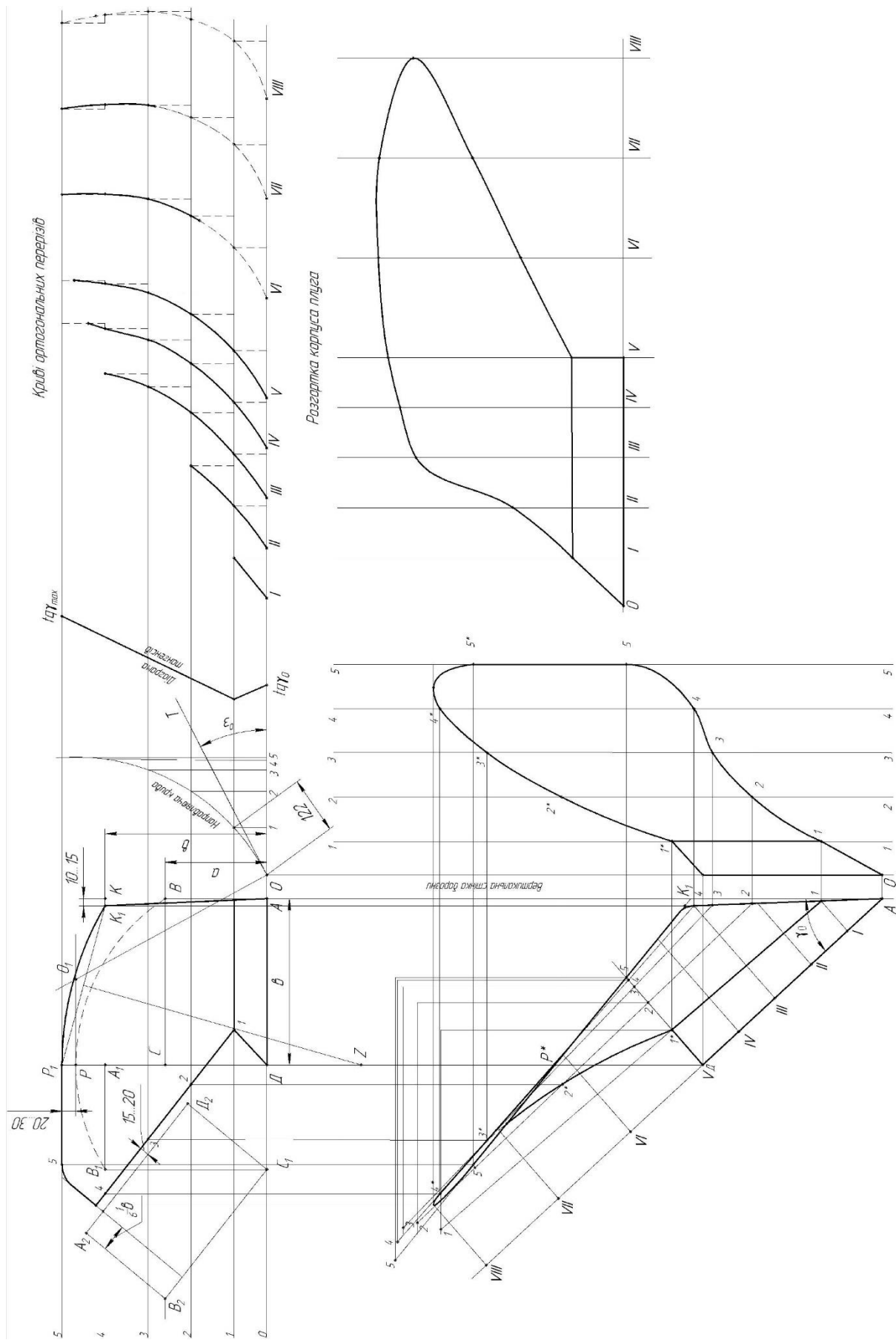


Рис. 2.4. Загальний вигляд спроектованої робочої циліндроїдальної поверхні корпусу плуга

Після побудови ортогональних перерізів і розгортки корпусу плуга отримаємо загальний вигляд майбутнього лемішно-полицевого робочого органу (рис. 2.4)

Потрібно відмітити, що стандартні робочі поверхні плужних корпусів побудовані дещо інакше. Відмінність від викладеного спрощеного способу побудови полягає в формі направляючої кривої і кривої діаграми тангенсів.

2.2. Побудова схеми начіпного лемішного плуга й аналіз сил, що діють на нього

При роботі плуга на кожен його корпус діють елементарні сили опору ґрунту. Дослідження показують, що вони не приводяться до однієї рівнодіючої сили, а приводяться до динами. Причому визначити теоретично величину і напрям головного вектора і головного моменту при сучасному стані теорії плуга не є можливим[7, с. 42-54, 8, с. 142-170.].

Тому сили, що діють на корпус плуга, представляють у трьох координатних площинах - площинними силовими характеристиками. При цьому визначають величину і напрямок складових головного вектора шляхом просторового динамометрування за допомогою спеціальної лабораторної установки.

Вихідною силою при визначенні складових головного вектора елементарних сил опору ґрунту, прикладених до робочої поверхні плужного корпусу, є повздовжня складова R_x .

У горизонтальній площині проекцій xy ця сила (R_x) проходить паралельно стінці борозни на відстані, рівній $0.4b$. Значення її може бути визначене за формулою Горячкіна В. П.[19, 7, с. 50, 8, с. 98.]:

$$R_x = \frac{P - fG}{n} = kab + \xi abV \quad (2.1)$$

де P - тяговий опір плуга;

f - коефіцієнт опору плуга проходженню в борозні;

G - вага плуга; кН

n - число корпусів;

k - питомий опір ґрунту; КН/м

a - глибина оранки; м

b - ширина захвату корпусу; м

ξ - коефіцієнт швидкісного опору;

V - швидкість оранки. м/с

Так як горизонтальна складова R_{xy} головного вектора відхилена від нормалі до леза лемеша на кут тертя ковзання φ ґрунту по сталі, то тоді[7, с. 52, 8, с. 100.]:

$$R_{xy} = \frac{R_x}{\sin(\varphi + \gamma_o)} \quad (2.2)$$

де γ_o - кут між лезом лемеша і стінкою борозни.

Сила, що притискає корпус плуга до стінки борозни, виражається залежністю:

$$R_y = R_x \operatorname{ctg}(\varphi + \gamma_o) \quad (2.3)$$

Якщо вважати, що польові дошки плуга навантажені тільки поперечними горизонтальними силами, то сила тертя польових дошок об стінки борозен може бути визначена за формулою:

$$F = f_1 R_y \quad (2.4)$$

Де f_1 - коефіцієнт тертя ковзання сталі по ґрунту. Він визначається за допомогою лабораторної установки.

У повздовжньо - вертикальній площині на корпус діє сила R_{zx} , що утворить з віссю x кут ψ . Величина цього кута залежить від властивостей ґрунту, гостроти леза лемеша та глибини оранки.

Якщо лезо лемеша гостре і дно борозни ущільнене не сильно, то ψ має позитивний знак і знаходиться в межах до 12° , при цьому відстань ρ_{zx} від носка лемеша до лини дії сили R_{zx} приймають рівним половині глибини оранки.

Якщо ж лезо лемеша тупе і дно борозни сильно ущільнене, то кут ψ має від'ємне значення і може досягати мінус 12° , відстань ρ_{zx} при цьому приймається рівною одній третій глибини оранки. Силу визначають по формулі[7, с. 54, 9, с. 102.]:

$$R_{zx} = \frac{R_x}{\cos \psi} \quad (2.5)$$

Вертикальна складова R_z сили R_{zx} відноситься до направляючої наступних сил: позитивно спрямованих на робочу поверхню лемеша в полиці; ваги ґрунту, що впливає на поверхню лемеша і полиці; негативно спрямованих (знизу вверху) опорів ґрунту, прикладених до потилиці леза лемеша й ін.

$$R_z = R_x \operatorname{tg} \psi \quad (2.6)$$

У поперечно-вертикальній площині uoz (вид спереду) на корпус діє сила R_{zy} , що утворює з віссю кут $\delta = \pm 45^\circ$.

$$R_{zy} = \sqrt{R_y^2 + R_z^2} \quad (2.7)$$

Відстань ρ_{zy} від носка лемеша до лінії дії сили R_{zy} приймають рівною половині глибини оранки при додатному значенні кута δ , а при від'ємних значеннях кута δ - приймають рівний третім частині глибини оранки.

Величина, напрям і точки прикладання сил R_{xy} , R_{zx} , R_{zy} , що діють на корпус плуга у відповідних площинах проєкцій, є середніми, що зв'язано з мінливістю фізико-механічних властивостей ґрунту і нерівномірністю мікрорельєфу в межах навіть одного поля[9, с. 66.].

Для відрізання шару ґрунту у вертикальній площині перед останнім передплужником, (якщо орють без передплужників, те перед заднім корпусом) встановлюють дисковий ніж (рис. 2.5). Його центр розташовують над носком

леміша останнього передплужника. Діаметр диска визначаємо за формулою[9, с. 86.]:

$$D_{\delta} = d_m + 2(a_1 + \delta_1 + \delta_2) \quad (2.8)$$

де d_m – діаметр маточини дискового ножа, приймаємо $d_m = 100$ мм;

δ_1 - зазор між поверхнею поля і маточиною дискового ножа, $\delta_1 = 2-3$ см;

δ_2 - відстань між дном борозни передплужників і нижнім краєм диска, $\delta_2 = 1-2$ см.

Визначаючи місце кріплення дискового ножа до рами, знаходимо, що відстань від носка леміша основного корпусу до осі стійки ножа складає 640...690мм. [9, с 104, 11, с. 14., 12, с. 27.].

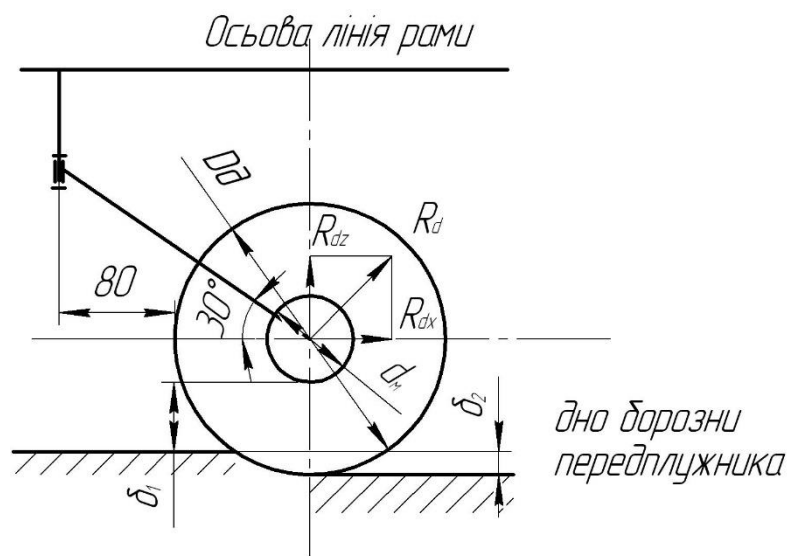


Рис. 2.1 Схема дискового ножа і сил, що діють на нього

Начіпні плуги з числом корпусів до п'яти мають одне опорне колесо. Центр колеса на схемі плуга розташовуємо на відстані, рівній 1/3 відстані між носками лемішів першого й останнього корпусів від носка леміша першого корпусу. Його діаметр 500 мм, ширина обода 120...180 мм. Плуги з числом корпусів більше п'яти забезпечуються двома опорними колесами. Центр першого колеса розташовується проти носка другого корпусу, а заднього - за носком останнього корпусу - на відстані 200 мм.

Рама начіпного плуга має трикутну форму. Осьова лінія її поперечного бруса розташована за носком першого корпусу (по ходу плуга) на відстані 100...200 мм (для трикорпусних плугів рекомендовано брати менше значення) [8, с. 58.].

Додавання сил зробимо графічним способом (рис. 2.6). Для цього виберемо масштаб сил (рекомендовано 100 або 200 Н/мм). Продовжимо лінії дії сил G і $\sum R_x$ до їхнього перетину (точка 1). Перенесемо ці сили в точку перетину. Їх рівнодіючу таким же способом складемо із силою $\sum F$ і т.д. Зручніше в довільному місці листа будувати силовий багатокутник, а на схемі плуга відзначати точки перетину дії відповідних двох сил і проводити через кожен з цих точок лінію дії рівнодіючої сил, що додаються, до перетину з наступною силою [14, с. 110.]. Так, через точку 1 схеми плуга проводимо лінію, паралельну силі R_1 , до перетину з лінією дії сили $\sum F$ (точка 2). На багатокутнику сил у результаті додавання сил R_1 і $\sum F$ одержуємо силу R_2 . Через точку 2 схеми проводимо лінію, паралельну силі R_2 , до перетину з лінією дії сили R_d (точка 3) і т.д. На схемі плуга лінію дії знайденої сили R_3 , продовжимо в напрямку передбачуваного миттєвого центра обертання П1 плуга. Плече e моменту визначимо по формулі [9, с. 145.]:

$$e = \frac{Bm}{R_3} \quad (2.9)$$

де $B = bn$ - ширина захвату плуга;

$m = 60...80$ Нм/см - найменший заглиблюючий момент на щільних ґрунтах, що приходить на 1 см ширини захвату плуга [8, с. 89.].

Плече моменту - одна з величин, що визначають положення точки $\pi 1$. Другою величиною, що визначає положення точки $\pi 1$, є величина, чисельно виражена через поздовжню базу трактора L .

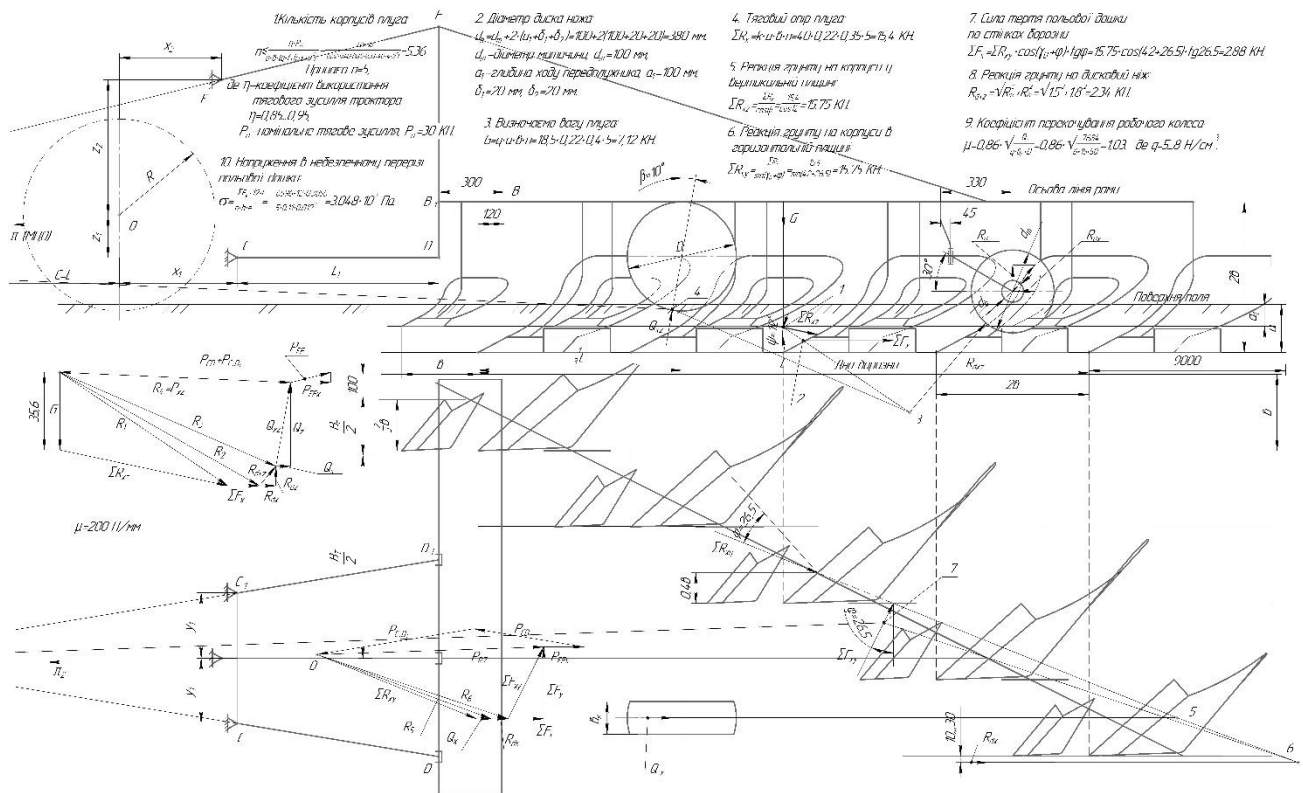


Рис.2.6. Силевий аналіз навісного спроектованого плуга

Умови рівноваги плуга.

Плуг, відрегульований на задану глибину обробітку, при роботі відрізає задані розміри скиби ґрунту, тобто рухається стійко (знаходиться в рівновазі), якщо реакції на його поверхнях дорівнюють нулю.

З теоретичної механіки відомо, що якщо плоска система сил знаходиться в рівновазі, то сума проєкцій усіх сил цієї системи на кожну координатну вісь дорівнює нулю і крім того, сума моментів усіх цих сил відносно довільно обраної точки також дорівнює нулю [10, с. 25.]. Що до графічного способу вирішення даної задачі це значить, що силевий багатокутник повинен бути замкнутим, тобто геометрична сума всіх сил системи повинна дорівнювати нулю, а лінія дії рівнодіючої всіх сил повинна проходити через миттєвий центр обертання плуга, що є фіктивною точкою приєднання плуга до трактора.

Висновки до розділу 2

В процесі проектування робочої поверхні плужного корпусу та дослідження впливу зміни геометричних параметрів на тип поверхні можна зробити наступні висновки.

1. При побудові та розрахунку параметрів, які б задовільняли якісним показникам основного обробітку, отримано тип поверхні полиці напівгвинтовий, що достатньо розкришує та обертає скибу ґрунту на кут $\beta > 135^0$, при глибині обробітку $a = 22..32$ см, ширина захвату корпусу $b = 35...40$ см при різних кутах атаки корпусу.
2. Отримано ортогональні перерізи криволінійної робочої поверхні корпусу, що дало можливість побудувати розгортку лемішно-полицевого корпусу.
3. В процесі виконання силового аналізу проектного плуга визначено раціональну кількість корпусів плуга для тракторів класу 3...8, що становить $n = 5...8$, що дає змогу оптимально регулювати робочі параметри машини, так і силові, які впливають на стійкість ходу плуга в вертикально і горизонтально повздовжніх площинах при різних кінематичних показниках тракторів

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СПРОЕКТОВАНОГО НАВІСНОГО ПЛУГА

Встановивши на плуг нові спроектовані корпуси шириною захвату 0,4 м, трактори тягового класу 3 (ХТЗ - 242 потужністю 176 кВт) (рис.3.1.) можуть агрегатувати плуг шириною захвату 2,0 м на глибину до 30 см при швидкості 2..3 м / с (рис. 3.2.). Більш потужні енергетичні засоби тягового класу 4 (потужністю 210 кВт) можливо використовувати з плугами шириною захвату 2,4 м на швидкості до 3 м/с. Згідно агротехнічним і експлуатаційно-технологічними вимогами для якісного виконання операції оранки необхідно забезпечити рух орного агрегату на швидкості 7...9 км/год. При даних робочих швидкостях орного агрегату отримаємо хороші агротехнічні показники обробітку ґрунту [15, с. 13-15.].

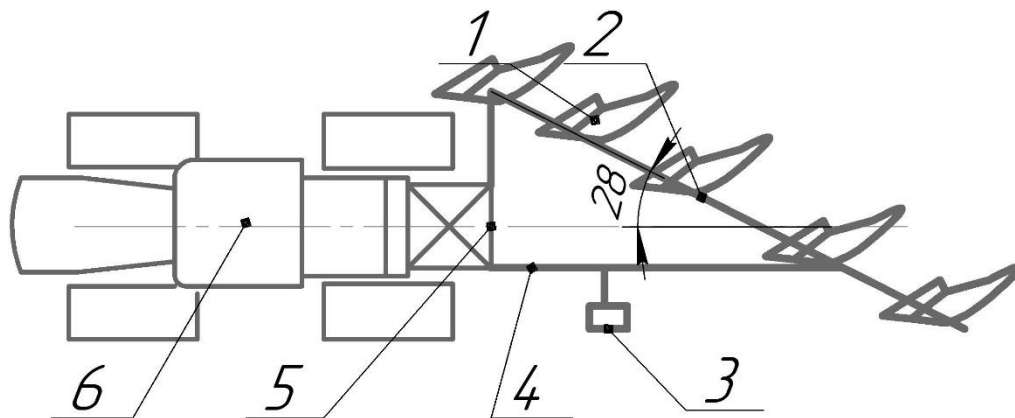


Рис.3.1. Принципово-компоновочна схема орного агрегату:

- 1 - корпус; 2 – брус жорсткості рами; 3 – опорно-регульовальне колесо; 4 – повздовжній брус рами; 5 – навісний пристрій; 6 – трактор.

Відомо, що для нормальної роботи агрегату повинна виконуватись умова (3.1) [16, 17, с. 59].

$$P_{\text{зак}}(V)\eta_m = R_{\text{пл}}(V) \quad (3.1)$$

де $P_{\text{зак}}$ – зусилля трактора на гаку, кН;

$R_{\text{пл}}$ – тяговий опір плуга, кН;

η_m – коефіцієнт використання тягового зусилля трактора.

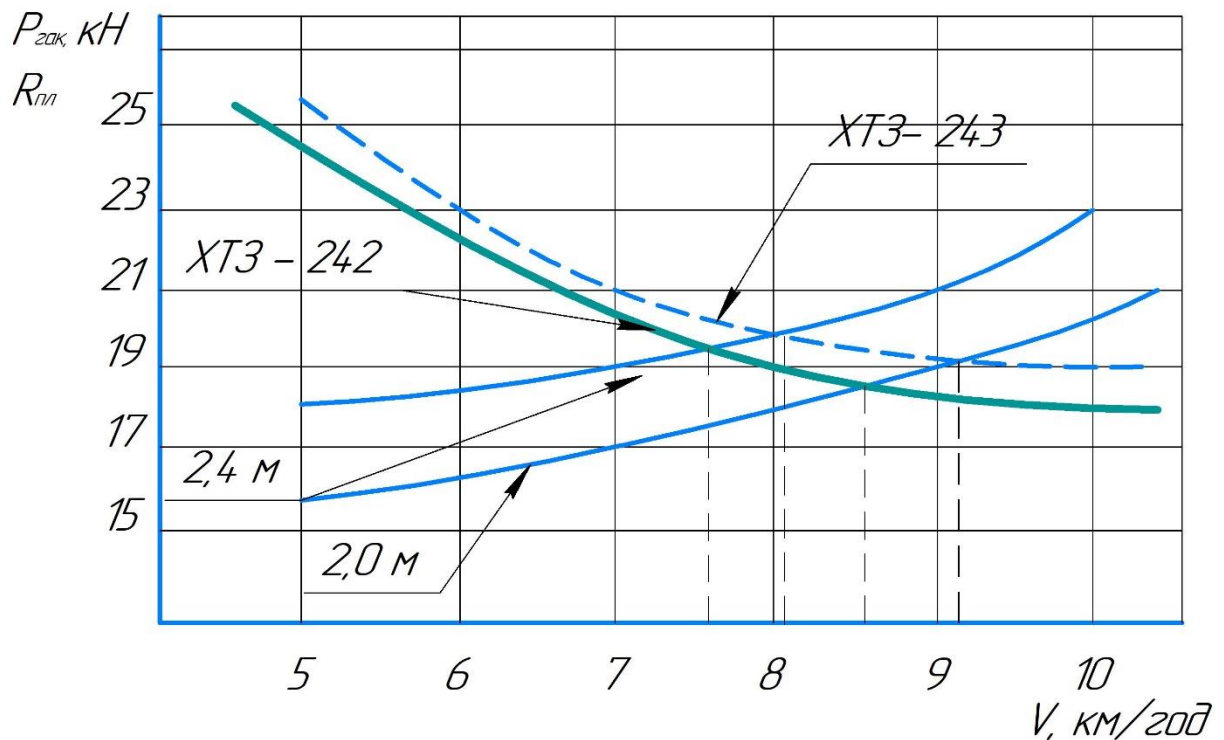


Рис. 3.2. Залежність тягового опору плуга і зусилля на гаку трактора від швидкості руху агрегату при ширині захвату 2 м і 2,4 м.

При побудові силового багатокутника слід мати на увазі те що дві сили, величини яких невідомі, а відомі лише їхні напрямки, повинні складатися останніми.

У поздовжньо-вертикальній площині (рис. 3.3.) на плуг крім раніше відзначених сил $G, \sum R_x, \sum F, R_d$ діють реакції ґрунту на опорне колесо Q , і сила

тяги трактора P_{zx} , спрямована в протилежну сторону рівнодіючої всіх сил опору ґрунту руху плуга R_4 . Сили Q і R_4 є невідомими. Тому складемо їх останніми. При цьому будемо мати на увазі, що реакція Q , проходить через вісь колеса під кутом μ (10°) до вертикалі, тому при визначенні сили R_{zx} по формулі 5 варто враховувати заданий кут Ψ .

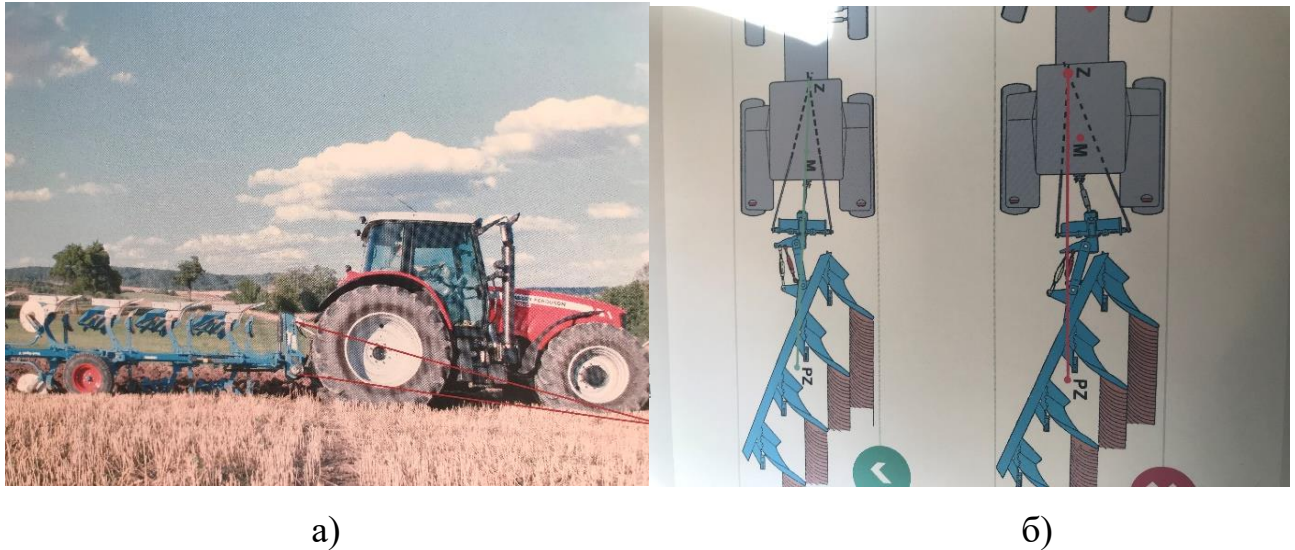


Рис. 3.3. Визначення миттєвого центра обертання плуга:

а) у поздовжньо-вертикальній площині $\pi 1$; б) поздовжньо – горизонтальній площині

Сили Q і R_4 визначимо наступним чином. Продовжимо на схемі плуга лінії дії сил Q і R_3 (рис. 2.) Вони перетинаються в точці 4. Точка 4 - точка прикладання рівнодіючої R_4 . Плуг у поздовжньо-вертикальній площині знаходиться в рівновазі, якщо R_4 проходить не тільки через точку 4, але і через миттєвий центр обертання $\pi 1$. По лінії $\pi 1$ -4 діє на плуг і сила тяги P_{zx} . Вона по величині дорівнює R_4 . Проведемо у багатокутнику сил через початок вектора G лінію, паралельну лінії π -4, а з кінця вектора R_d - лінію, відхилену від вертикалі на кут μ . Точка перетину цих ліній визначає кінець вектора Q і кінець вектора R_4 .

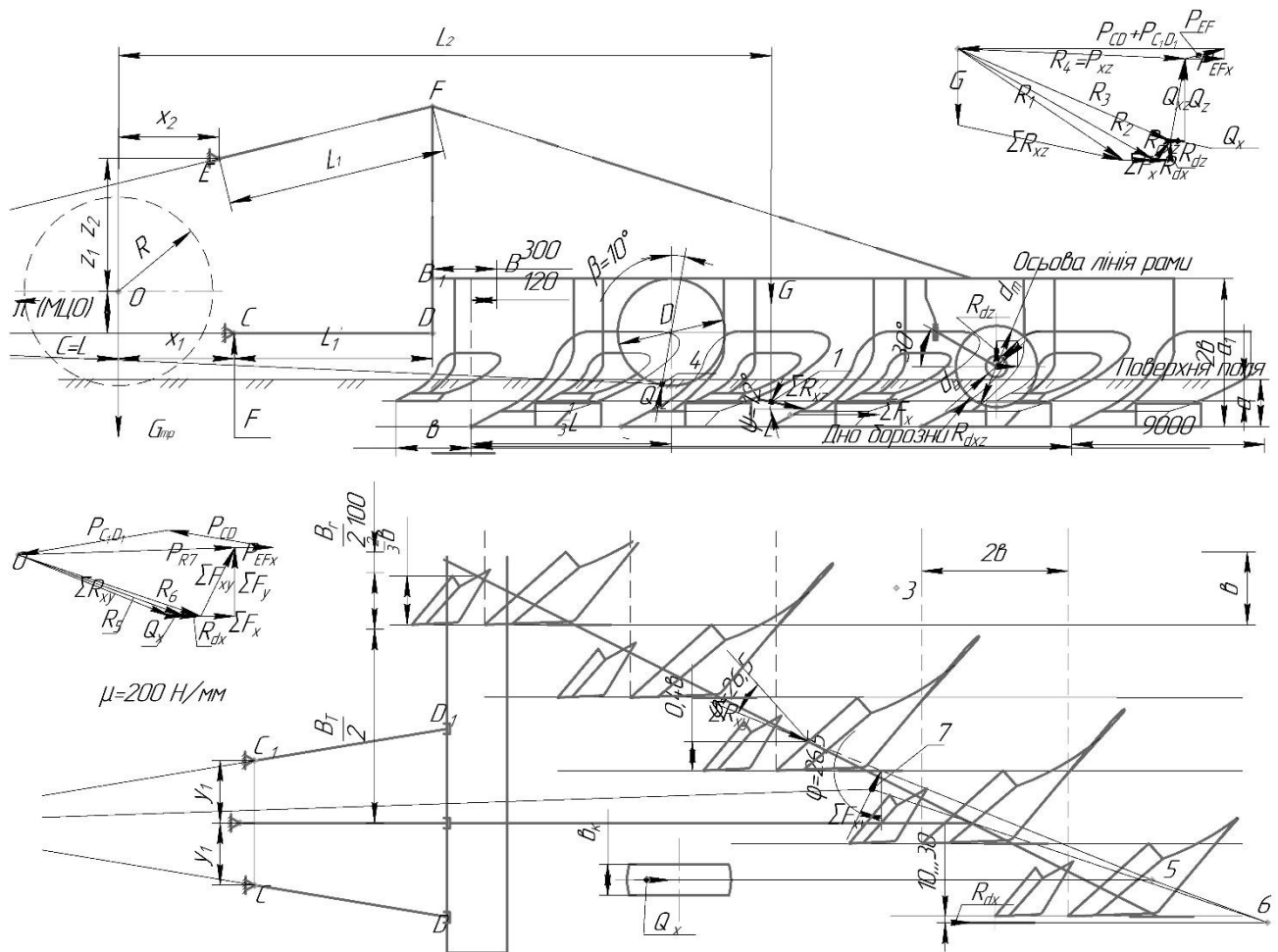


Рис. 3.4. Схема плуга у поздовжньо-вертикальній і горизонтальній площині

З багатокутника сил видно, що величина сили Q залежить від нахилу сили P_4 до горизонту. Нахил сили залежить від положення точки $\pi 1$ відносно плуга. Якщо змістити точку верхньої тяги механізму навіски трактора (рис. 3.) вниз, то точка $\pi 2$ наблизиться до плуга. Нахил при цьому сили P_4 збільшиться, а реакція Q зменшиться.

Перерозподілиться при цьому і вертикальне навантаження рушіїв трактора на ґрунт. Деякі колісні трактори обладнані механічними довантажувачами ведучих коліс, тобто пристроєм, що дозволяє переміщати точку верхньої тяги механізму навіски трактора у вертикальному напрямку.

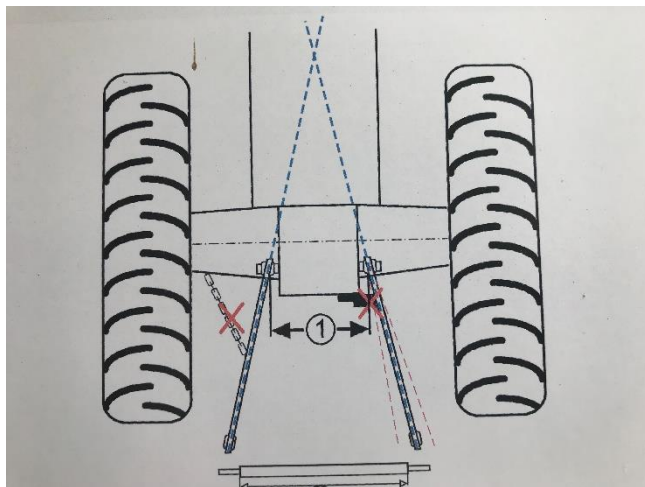


Рис. 3.5. Встановлення МЦО в горизонтальній площині механізмів задньої навіски трактора

При переміщенні її вниз задні колеса трактора довантажуються, а передні розвантажуються, що дозволяє знизити буксування задніх коліс.

Довжину центральної тяги системи навіски (рис. 3.4), і відповідно навантаження на рушії задньої ведучої осі можна визначити за системою рівнянь (3.2) [18, с. 135]:

$$\begin{cases} F = GL_2 / L_1 \\ G_{тр} = G(L_1 + L_2) / L_2 \end{cases} \quad (3.2)$$

де L_1 – довжина центральної тяги, м;

L_2 – відстань від осі задніх рушіїв до центра ваги плуга, м;

F – піднімальна сила, яка діє на важелі навісної системи, кН;

$G_{тр}$ – навантаження, яке діє на рушії трактора, кН;

G – сила ваги плуга, кН.

Тоді, якщо центр ваги плуга знаходиться на носку третього корпусу і відстань $L_2=1520$ мм, графічне вирішення цієї системи рівнянь (3.2) представлено на (рис. 3.6)

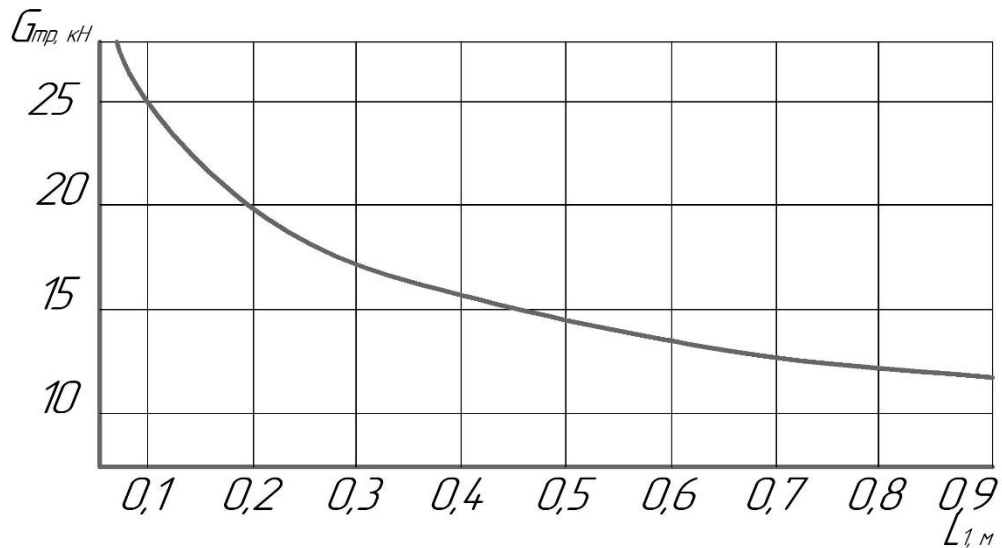


Рис. 3.6. Залежність навантаження рушіїв задньої ведучої осі від довжини центральної тяги навісної системи

Висновки до розділу 3

1. Експлуатуючи корпуси шириною захвату 0,4 м, на плугах типу ПЛН трактори тягового класу 3 (ХТЗ - 242 потужністю 176 кВт) можуть агрегатувати плуг шириною захвату 2,0 м на глибину до 30 см при швидкості 8,1 км/год, трактори класу 4 (потужністю 210 кВт) можливо використовувати з плугами шириною захвату 2,4 м на швидкості до 9,1 км/год.
2. Визначено оптимальні значення кінематичних параметрів навісної системи, координати МЦО плуга відносно трактора, що дозволяє раціонально використовувати тягову потужність без пробуксовування рушіїв, як переднього та і заднього мостів. При використанні тракторів з колісною формулою 4х4 МЦО повинен знаходитись приблизно на осі переднього мосту.
3. Встановлено залежність навантаження рушіїв задньої ведучої осі від довжини центральної тяги навісної системи, що дозволяє максимально використовувати зчіпну вагу трактора та частково плуга довжина $L_2 = 1520 \text{ мм}$ і $L_1 = 0,86 \text{ м}$.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Робочі органи машин виконані однотипно з різними геометричними параметрами, тобто шириною захвату корпусу, типом робочої поверхні полиці та його кутами різання, кришіння і зсуву скиби.

До недоліків оборотних плугів можна віднести: велику габаритну довжину, металоємність конструкції, високу вартість, наявність великої кількості складних систем і шарнірів, які зменшують експлуатаційну надійність, що дає можливість продовжувати удосконалювати лемішно-полицеві плуги.

2. Отримано тип поверхні полиці напівгвинтовий, що достатньо розкришує та обертає скибу ґрунту на кут $\beta > 135^\circ$, при глибині обробітки $a = 22..32$ см, ширина захвату корпусу $b = 35..40$ см при різних кутах атаки корпусу. В процесі виконання силового аналізу проектного плуга визначено раціональну кількість корпусів плуга для тракторів класу 3...8, що становить $n = 5..8$, що дає змогу оптимально регулювати робочі параметри машини

3. Трактори тягового класу 3 (ХТЗ - 242 потужністю 176 кВт) можуть агрегатувати плуг шириною захвату 2,0 м на глибину до 30 см при швидкості 8,1 км/год, трактори класу 4 (потужністю 210 кВт) можливо використовувати з плугами шириною захвату 2,4 м на швидкості до 9,1 км/год.

4. При використанні тракторів з колісною формулою 4х4 МЦО повинен знаходитись приблизно на осі переднього мосту. Встановлено залежність навантаження рушіїв задньої ведучої осі від довжини центральної тяги навісної системи, що дозволяє максимально використовувати зчіпну вагу трактора та частково плуга довжина $L_2 = 1520$ мм і $L_1 = 0,86$ м.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. LEMKEN [Електронний ресурс]. Продукція, оранка, плуги Діамант 11/12. - Електрон. дан., 2019. - Режим доступу <http://lemken.com.ua/ua/plows>
2. Kverneland [Електронний ресурс]. Обробка ґрунту, плуги, напівнавісні обертові плуги, Kverneland. - Електрон. дан., 2019. - Режим доступу <https://sng.kverneland.com/Obrabotka-pochvy/Plugi>
3. Kuhn [Електронний ресурс]. Каталог продукції Kuhn, оранка, напівнавісні обертові плуги, Challenger. - Електрон. дан., 2019. - Режим доступу <http://www.kuhn.ru/internet/web.ru.nsf/>
4. Gregoire Besson [Електронний ресурс]. Каталог продукції, плуги. - Електрон. дан., 2019. - Режим доступу https://astra-group.ua/catalogue/tehnika/plugi/gregoire_besson-62.html.
5. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. Підручник. 2-е вид. – К: Каравела, 2008.- 552с.
6. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку.: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
7. Сисолін П.В. та ін. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи конструкція, проектування: Підручник для студентів вищих навчальних закладів із спеціальності «Машини та обладнання с.г. виробництва» (За ред. М.Г. Черновола). – Кн.1. К.: Урожай, 2001.-384с.
8. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. - М.: Колос, 1994. – 751с.
9. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины./ Г.Е. Листопад, Г.К. Демидов, Б.Д. Зонов и др.; Под общ.ред. Г.Е. Листопада. – М.: Агропромиздат, 1986. – 688с.

10. Лобас Л.Г., Лобас Людм. Г. Теоретична механіка: Підручник для студентів вищих технічних навчальних закладів / Л.Г. Лобас, Людм. Г. Лобас. – К.: ДЕТУТ, 2008. – 406 с.
11. Troger H., Steindl A. Nonlinear stability and bifurcation theory. – Wien; New York: Springer–Verlag, 1991. – 407 p. 34.
12. Shinohara Y. A geometric method for the numerical solution of nonlinear equations and its application to non-linear oscillations // Publ. Res. Inst. Math. Sci., Kyoto Univ. – 1972. – Vol.8, № 1. – P. 13-42.
13. Брус Дж., Джиблин П. Кривые и особенности. – М.: Мир, 1988. – 264 с.
14. Я. Т. Кіницький, В. О. Харжевський, М. В. Марченко. Теорія механізмів і машин в системі Mathcad: Навчальний посібник. – Хмельницький: РВЦ ХНУ, 2014. – 324 с.
15. Агротехнічні вимоги та оцінка якості обробітку ґрунту: навч. посібник / М. С. Чернілевський, Ю. А. Білявський, Р. Б. Кропивницький, Л. І. Ворона. – вид. 2-ге, допов. – Житомир: Вид-во «Житомирський національний агроекологічний університет», 2012. – 84 с.
16. Ільченко В.Ю., Карасьов П.І., Лімонт А.С. та ін. Довідник експлуатації машинно-тракторного парку. - К.: Урожай, 1987. - 366.с.
17. Ільченко В.Ю., Нагірний Ю.П., Джолос П.А. та ін. Машиновикористання в землеробстві / За ред. В.Ю.Ільченка, Ю.П. Нагірного. - К.: Урожай, 1996. - 384 с.
18. *Анурьев, В. И.* Справочник конструктора-машиностроителя / В. И. Анурьев.- М. : Машиностроение, 1978. - Т. 1. - 728 с.
19. *Горячкин, В. П.* Собрание сочинений : в 4 т. Т. II / В. П. Горячкин. - М. : Колос, 1968. - 455 с.