

механізмами технологічного обладнання та в інших системах з однаковими за фізичною природою сигналами регулювання і керування, для покращення їх динамічних показників.

Список використаних джерел

1. Крутов В.И. Автоматическое регулирование двигателей внутреннего сгорания, 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 615 с.
2. Левин М.И. Автоматизация судовых дизельных установок – Л.: Судостроение, 1962. – 465 с.
3. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. Учебник для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 736 с.
4. Авторское свидетельство СССР № 1229779, G 06 G 5/00. Устройство для дифференцирования сигналов. / Божок А.М. № 3773869/24-24. Заявл. 31.07. 1984. Опубл. 07.05. 1986. Бюл. № 17.
5. Васильев Д.В., Чуич В.Г. Системы автоматического управления. – М.: Высшая школа, 1967. – 420 с.
6. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – М.: Наука, Главная редакция физ.-мат. л-ры, 1981. – 720 с.

Аннотация. Представлена схема и описана работа принципиально нового пропорционально-интегро-дифференцирующего звена систем автоматического регулирования и управления неэлектрического типа, а также результаты ее исследования. Установлено, что предложенное звено имеет свойства двойного дифференцирования и интегрирования неэлектрических сигналов.

Ключевые слова: корректирующее устройство, переходной процесс, сиффон, фланец, дифференцирование, интегрирование, передаточная функция, аperiodическое звено, дроссель, постоянная времени.

Summary. Operational diagram of essentially new, proportionally integro-differentiating dynamic segment of automatic non-electric type systems as well as results of its research are substantiated and described. It has been found experimentally that the presented segment has properties of double differentiation and integration of nonelectric signals.

Keywords: adjusting gear, transient, silphon a flange, differentiation, integration, transmitting function, an aperiodic segment, among choke, time constant.

УДК 631.3.001

*К.В. Замойська, кандидат технічних наук, в. о. доцента,
С.М. Замойський, кандидат технічних наук, доцент ПДАТУ*

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПОВЕРХНЕВОГО РОЗПУШУВАННЯ ГРУНТУ РОТАЦІЙНИМ РОЗПУШУВАЧЕМ

Наведені результати теоретичних досліджень впливу конструктивно-технологічних параметрів ротаційного розпушувача ґрунту і фізико-механічних властивостей ґрунту на ступінь його подрібнення.

Ключові слова: ротаційний розпушувач, ґрунт, ступінь подрібнення, ніж, міцність структурних агрегатів.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Поверхневий обробіток ґрунту є найважливішою технологічною операцією при підготовці його до сівби різних сільськогосподарських культур. Від якості виконання цієї операції залежать умови проростання насіння і розвиток рослин в початковий період їх вегетації. Основним завданням поверхневого обробітку є оптимальне подрібнення ґрунтових агрегатів і формування необхідного його структурного стану при ефективних енергетичних витратах.

На сьогоднішній день існуючі ґрунтообробні знаряддя не повністю забезпечують виконання цих завдань і не завжди забезпечують високу якість обробітку ґрунту з різними фізико-механічними властивостями. У першу чергу це залежить від їх конструктивно-технологічних параметрів і режимів роботи. Ті способи обробітку ґрунту, які застосовуються у наявних на

сьогодні конструкціях машин, не дають можливості досягнути ідеального стану ґрунтових агрегатів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми. Питаннями дослідження роботоздатності ротаційних ґрунтообробних машин займалися багато вчених. Завдяки роботам таких вчених як Панов І.М., Босой Є.С., Сакун В.О., Коновал А.І., Кацігін В.В., Деграф Г.А., Юзбашев В.А., Кокоз В.А., Павлинов А.І., Кузнецов Ю.А., Андреев В.І., Яцук Є.П., Герук С.М., Попов І.М., Єфімов Д.М., Далін А.Д., Павлов П.В. та ін. [1] були вирішені задачі оптимізації окремих параметрів фрезерних і ротаційних робочих органів ґрунтообробних знарядь і машин, режимів їх роботи і енергомісткості процесів. Але в більшості випадків дослідження не враховували усіх фізико-механічних властивостей ґрунту і його якісні параметри після обробітку. Також у запропонованих ними робочих органах використовувалось не більше одного-двох способів руйнування і подрібнення ґрунтового моноліту.

Останнім часом питанням різання ґрунту пасивними робочими органами були присвячені праці професора А.М. Панченка [2], в яких він для оцінки якості обробітку ґрунту використовує два критерії: ступінь подрібнення ґрунту і коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів. За даними його досліджень ступінь подрібнення ґрунту рівна:

$$i = i_1 \times i_2 \times i_3 \dots i_l, \quad (1)$$

де $i_1, i_2, i_3 \dots i_l$ – ступінь подрібнення за рахунок застосування першого, другого, третього і т.п. методів руйнування ґрунтового моноліту.

А питання визначення аналітичним методом необхідного ступеня подрібнення ґрунту різними ґрунтообробними знаряддями з активними робочими органами розглянуті у працях [3, 4].

Невирішені питання проблеми. Існуючі наукові дослідження в основному були направлені на вирішення питань оптимізації режимів роботи, параметрів, споживаної потужності ротаційних знарядь, в яких у конструкції ротаційних ріжучих елементів закладений тільки один спосіб руйнування ґрунту – різання. Тому для здійснення необхідної якості обробітку слід забезпечити високу частоту обертання ротора і невелику швидкість переміщення знаряддя, показник кінематичного режиму складе від 2 до 16. Це приводить до великих енерговитрат і маси знаряддя.

Одним із перспективних напрямків розвитку ротаційних знарядь і, зокрема, ротаційних культиваторів і розпушувачів є зменшення енергомісткості процесу фрезерування, маси знаряддя при дотримуванні вимог до якості обробітку за рахунок суміщення в конструкції ріжучих елементів ротора декількох способів руйнування ґрунту. Це приведе до зменшення частоти обертання вала ротора і відповідно зменшення споживаної потужності і маси знаряддя в цілому.

Враховуючи те, що в даний час сільськогосподарські підприємства не забезпечені ґрунтообробними знаряддями, що агрегуються з тракторами класу нижче 1,4, створення ефективних ротаційних знарядь, які споживають менше енергії при ґрунтообробітку і відповідають всім агротехнічним вимогам до якості обробітку ґрунту, є актуальним завданням.

До якості обробітку ґрунту ротаційними знаряддями висуваються такі вимоги:

- розмір структурних агрегатів ґрунту після обробітку з точки зору вологопроникності, тепло-, повітрямісткості не повинен перевищувати 10 мм, а коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів повинен бути в межах 9-16. Такі вимоги до якості обробітку ґрунту охороняють його від водної і вітрової ерозії;
- відхилення глибини обробітку ґрунту не повинно перевищувати $\pm 1,0$ см при нерівності поверхні поля $\pm 2,0$ см;
- ґрунт кришать і вкладають з повною заробкою бур'янів, поживних решток і внесених на поверхню поля добрив.

Постановка завдання. Основним завданням досліджень було на основі теоретичного дослідження розкрити сукупність явищ комбінованої механічної дії на ґрунт ножів ротаційного розпушувача та визначити його раціональні конструкційні параметри і режими роботи залежно від різних фізико-механічних властивостей ґрунту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Проведений аналіз конструкцій ротаційних ґрунтообробних знарядь дає змогу стверджувати, що існуючі на сьогоднішній день ротаційні розпушувачі ґрунту потребують радикального вдосконалення. Використання в роботі

нераціональних способів дії елементів робочих органів на ґрунтовий моноліт, недостатнє забезпечення відповідного ступеня подрібнення і розмірів структурних агрегатів ґрунту, призводять до нераціонального використання потужності агрегата і низької якості підготовки ґрунту в різних ґрунтово-кліматичних зонах вирощування сільськогосподарських культур.

Для зменшення енергомісткості процесу і підвищення якості обробітку на основі знання про фізико-механічні властивості ґрунту необхідно застосовувати такі способи його деформації, щоб опір різанню був якнайменший, а робочі органи створювали різнонаправлені деформації за рахунок декількох способів руйнування ґрунтового моноліту [1, 2]. Важливо, щоб структурні агрегати ґрунту рухались по поверхні робочого органа як суцільна скиба і одночасно переміщувались один відносно одного, причому значно швидше, ніж по робочому органіві. Це в першу чергу залежатиме від форми і геометрії робочих органів та кінематики їх руху.

Таким чином, проблема створення нового ротаційного розпушувача є важливою і актуальною.

Для забезпечення раціональної роботи нового ротаційного розпушувача слід всебічно дослідити і визначити раціональні параметри та режими роботи ротаційного розпушувача.

Отже, основною метою досліджень є підвищення якісних показників процесу розпушування ґрунту шляхом розробки конструкції ротаційного розпушувача з частотою обертання робочих органів не більше 180 хв^{-1} .

Для досягнення поставленої мети в програмі теоретичних досліджень слід передбачити вирішення наступних задач:

- розробити нову конструктивно-технологічну схему ротаційного розпушувача ґрунту та ідентифікувати головні його параметри і режими роботи;
- ідентифікувати головні параметри процесу переміщення структурних агрегатів ґрунту по поверхні ножів та визначити їх взаємозв'язок із параметрами та режимами роботи розпушувача;
- на основі фізико-механічних властивостей ґрунту і досліджень явищ різання ґрунту, стискування і перетирання структурних агрегатів розробити математичну модель деформації ґрунту;
- оптимізувати головні параметри та режими роботи ротаційного розпушувача ґрунту.

Зроблений аналіз конструкцій ротаційних ґрунтобробних знарядь показав, що вони мають багато недоліків, серед яких складність конструкції багатьох машин, низька якість подрібнення ґрунту і його сепарації, не повне знищення бур'янів, подрібнення і заробки пожнивних решток та мінеральних і органічних добрив, обороти вала відбору потужності більше 540 хв^{-1} і великі енергетичні затрати.

Проведений аналіз конструкційно-технологічних схем ротаційних розпушувачів ґрунту і процесу їх роботи показав, що найбільший вплив на технологічний процес розпушування мають такі параметри: ширина захвату, робоча швидкість, частота обертання вала ротора, кількість робочих ножів, крок витка розміщення ножів, ширина ножа та інші його геометричні характеристики. Саме від цих параметрів в першу чергу залежить деформація ґрунту і зменшення опору різанню.

Конструкційно-технологічна схема розпушувача наведена на рис. 1 [5].

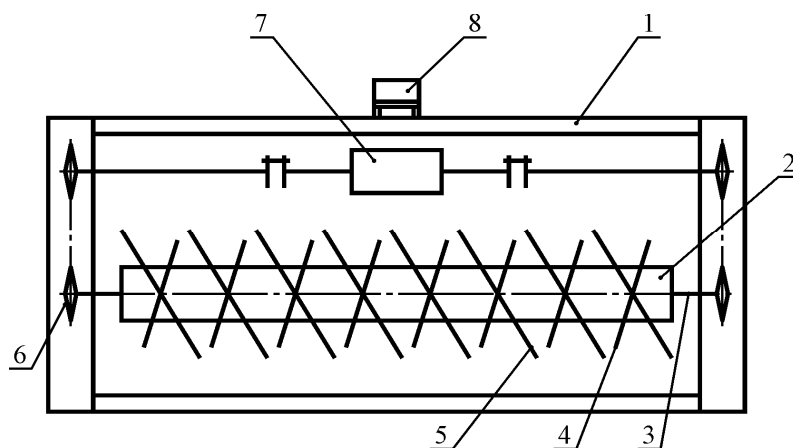


Рис. 1. Конструкційно-технологічна схема ротаційного розпушувача

Ротаційний розпушувач складається з рами 1, на якій розміщені барабан 2, що містить основні робочі ножі 5 і додаткові ножі 4. Основні і додаткові ножі мають трикутну форму. Основні ножі 5 розташовані під кутом до осі барабана 3 і закріплені на барабані по гвинтовій лінії з правою навивкою до основи лінії машини, і навпаки, друга сторона розпушувача від осьової лінії машини містить основні ножі 5, розташовані під кутом до барабана по гвинтовій лінії з правою навивкою, таким чином, на другій стороні барабана вони розташовані дзеркально.

Привод робочих органів здійснюється через ланцюгову передачу 6, конічний редуктор 7, карданный вал 8 від валу відбору потужності трактора.

Ротаційний розпушувач ґрунту працює таким чином. При переміщенні машини вздовж поля основні ножі 5 розпушують нижні шари ґрунту, а додаткові ножі 4 – верхні шари ґрунту з одночасним подрібненням рослинних решток, перемішуючи верхні і нижні шари ґрунту вздовж осі барабана назустріч один одному, що полегшує деформацію ґрунту і покращує якість розпушування.

Головні параметри та режими роботи зведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Головні параметри та режими роботи ротаційного розпушувача

Назва параметру чи режиму	Позначення	Одиниці вимірювання
Параметри: ширина захвату	B_m	м
кількість ножів по колу	z	шт
крок витка ножів	T	м
ширина ножа	l_H	м
кут зсуву ножа в плані	ε	град
Режими роботи: швидкість руху	V_m	м/с
кінематичний режим	λ	
Критерії оцінки: ступінь подрібнення	i_i	
потужність на обробіток	N	кВт

Подрібнення ґрунту ґрунтообробними знаряддями виконується в основному механічним способом. У цьому випадку матеріал розпушується під дією робочого органа. Існує декілька різновидів механічного способу подрібнення ґрунту: різання, сепарація, стискування, роздавлювання, гравітаційне падіння, розколювання, перетирання, злом і удар. Найбільш якісні показники забезпечуються при застосуванні одночасно декількох способів. Так, при аналізі конструктивно-технологічних схем існуючих ґрунтообробних знарядь було виявлено, що найчастіше використовуються такі комбіновані різновиди способів подрібнення ґрунту: різання з перетиранням, різання з ударом, удар з перетиранням. У нашому випадку процес обробки ґрунту складається з трьох одночасно протікаючих процесів: різання, стискування і перетирання. Одночасно з подрібненням ґрунту відбувається знищення і заробка поживних решток та бур'янів. Зрозуміло, що на цей процес мають вплив як фізико-механічні властивості ґрунту, так і параметри ротаційного розпушувача ґрунту. Таким чином, при розробці математичної моделі подрібнення ґрунту вхідними змінними будуть фізико-механічні властивості ґрунту (некеровані чинники):

- вологість ґрунту;
- твердість ґрунту;
- кут зовнішнього тертя;
- кут внутрішнього тертя;
- параметри ротаційного розпушувача (змінні чинники):
- показник кінематичного режиму;
- крок витків розміщення ножів;
- кількість ножів по периметру барабана;
- швидкість руху ґрунтообробного знаряддя;
- ширина ножа;
- кут встановлення ножа в плані;
- параметри процесу розпушування ґрунту (керована дія).

Модель процесу розпушування ґрунту буде мати такий вигляд:

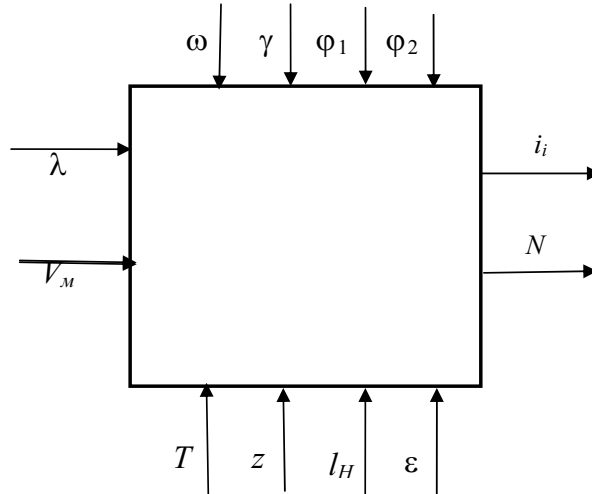


Рис. 2. Модель процесу розпушування ґрунту ротаційним розпушувачем

При розгляді цієї моделі слід скористатись такими припущеннями:

1. Частинки, з яких складається ґрунт, представляють собою абсолютно однакові тверді кульки з постійним кутом вкладання їх в об'ємі заданої глибини обробітку;
2. Розміри кульок малі у порівнянні з розмірами ділянки, що обробляється, і глибиною обробітку ґрунту;
3. Між кульками в точці контакту діють постійні сили зчеплення;
4. Рух кульок в потоці проходить по траєкторіях, що пересікаються, і представляють собою лінії ковзання.

За результатами проведених нами теоретичних досліджень для визначення основних конструктивних параметрів і режимів роботи ротаційного розпушувача, робочі органи якого одночасно забезпечують різання, стискання і перетирання структурних агрегатів, ми рекомендуємо використовувати такі співвідношення [1]:

1. Показник кінематичного режиму λ ротаційного розпушувача:

$$\lambda = \frac{2\pi \cdot R}{T \cdot V_m} \sqrt{\frac{1}{l_H \cdot \sin \varepsilon \cdot \delta \cdot \gamma} \left[\frac{P_0(1 - \alpha_0)}{\sin \alpha_0} + P_0 t q \varphi_2 \right] (1 + \sin \varepsilon \cdot \cos \varepsilon \cdot t q \varphi_1)}. \quad (2)$$

2. Крок витка ножів:

$$T = (Z - 1) \cdot \left\{ \left[2,64 \cos(45^\circ + \varphi_2) t q \varphi_2 + \frac{\lambda \cdot Z \cdot \varepsilon}{2\pi \cdot R \cdot \cos \arcsin\left(\frac{a}{R}\right)} \right] \cdot a + \varepsilon \right\} \quad (3)$$

3. Математична модель для розрахунку опору різання ґрунту ножом ротаційного розпушувача по зонах деформації ґрунту і формули для розрахунку трьох складових опору різання: дотичної P_{p1} , нормальної P_{p2} , поперечної P_{p3} :

$$\begin{aligned} P_{p1} = & C_{num} \cdot [2\varepsilon + 2,64 \cdot \cos(45^\circ + \varphi_2) \cdot t q \varphi_2] \cdot \delta \cdot \cos(45^\circ + \varphi_2) + 2 \cdot \\ & \cdot \left\{ 2C_{num} \cdot \delta^2 \cos(45^\circ + \varphi_2) \cdot \sin \arctan \left[\frac{0,66 t q \varphi_2}{\cos(45^\circ + \varphi_2)} \right] \sin(45^\circ + \varphi_2) + \right. \\ & + 4,9 l_H \cdot \cos \varepsilon \cdot \delta^2 t q^2 (45^\circ - 0,5 \varphi_2) \cdot \\ & \left. \cdot \gamma \cdot \sin \varphi_2 \right\} \cdot t q \varphi_1 + K'(X + Z \cdot t q \varphi_1) \cdot \varepsilon + \varepsilon \cdot \delta \cdot \gamma \frac{\sin \varepsilon \cdot \cos \Theta'}{\sin(\varepsilon + \Theta')} \cdot V_p^2 \end{aligned}$$

$$P_{p2} = 0,2P_{p1}$$

$$P_{p3} = P_{p1} \cdot ctq(\varepsilon + \phi_1) \quad (4)$$

4. Використана потужність на обробіток ґрунту ротаційним розпушувачем:

$$N = \frac{B_0}{T} \left\{ P_{p1} + \left[\frac{\sigma^2 \varepsilon \cdot \delta \cdot K_L}{12E \cdot T \cdot i_{уст}^3 \cdot i_{сж}^3 \cdot i_z^3} \cdot (i_{сж}^3 \cdot i_{уст}^3 - 1) + P_{p1} ctq(\varepsilon + \phi_1) \right] tq\phi_1 \cos^2 \varepsilon \right\} \cdot \lambda \cdot V_m \quad (5)$$

Висновки. 1. Обґрунтована конструкція ротаційного розпушувача ґрунту передбачає реалізацію комбінованого процесу розпушування на основі операцій різання, стискання та перетирання структурних агрегатів за допомогою системи ножів, розміщених під кутом до осі барабана і закріплених на барабані по гвинтовій лінії з правою навивкою до основи лінії машини, і навпаки, інший бік ножів розміщений дзеркально від осьової лінії машини.

2. Отримана залежність для розрахунку показника кінематичного режиму λ ротаційного розпушувача (2) дає можливість виявити вплив на показник кінематичного режиму λ глибини обробітку ґрунту λ , кількості ножів по колу Z , осьового тиску структурних агрегатів на дно борозни P_0 , кроку витка ножів T , швидкості руху знаряддя V_m , ширини ножів l_H , кута зсуву ножа в плані. Визначені раціональні параметри ротаційного розпушувача і режими його роботи для глибини обробітку ґрунту $\alpha = 0,15$ м. Швидкість руху знаряддя $V_m = 3,0$ м/с, $\lambda = 1,72$, $Z = 4,0$, $P_0 = 0,022$ кН, $l_H = 0,1$ м, $\varepsilon = 30^\circ$, $T = 0,44$.

3. Залежність для розрахунку кроку витка ножів (3) показує як на величину кроку витка ножів впливають: показник кінематичного режиму λ , кількість ножів по колу Z , глибина обробітку α , ширина ножа l_H , кут внутрішнього тертя ґрунту ϕ_2 .

4. Розроблена математична модель для розрахунку опору різання ґрунту ножем ротаційного розпушувача по зонах деформації ґрунту і складені формули для розрахунку трьох складових опору різання: дотичної P_{p1} , нормальної P_{p2} , поперечної P_{p3} (4) виявили вплив на дотичну складову опору різання таких чинників:

– з ростом показника кінематичного режиму від 1 до 6 опір збільшується від 0,24 до 5,2 кН;

– при збільшенні питомого зчеплення частинок ґрунту $C_{пшт}$ від 0 до 2,0 кН/м² опір збільшується на 22-22,5%;

5. Визначена використана потужність на обробіток ґрунту ротаційним розпушувачем (5) і виявлено вплив різних чинників на її величину:

– зі збільшенням дотичної складової опір різанню P_{p1} від 0,18 до 1,6 кН потужність зростає від 7,0 до 65 кВт;

– із збільшенням показника кінематичного режиму λ від 1 до 10 потужність збільшується від 22,5 до 88 кВт;

– із збільшенням ширини захвату знаряддя B_0 від 1,5 до 6,0 м потужність збільшується в 4,6 рази;

– із збільшенням швидкості руху знаряддя V_m від 0,5 до 5,0 м/с потужність збільшується в 6 разів;

– із збільшенням кроку витка ножів T від 0,2 до 1,2 м потужність зменшується від 41,5 до 5 кВт.

6. Одержана порівняльна характеристика споживаної потужності на обробіток ґрунту запропонованого ротаційного розпушувача і діючої фрези з прямими ножами:

– при ширині захвату $B_0 = 3,0$ м, швидкості руху знаряддя $V_m = 3,0$ м/с, ступені подрібнення $i = 20$ потужність запропонованого ротаційного розпушувача в 3,1-3,72 раза менша, ніж для діючої фрези;

– при зниженні швидкості діючої фрези до 1,5 м/с потужність зменшується в 1,9 раза [1].

Список використаних джерел

1. Замойська К.В. Обґрунтування параметрів ротаційного розпушувача ґрунту: дис. кандидата техн. наук: 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва / Замойська Катерина Володимирівна: ЛДАУ МАПУ. – Львівський державний аграрний університет, Львів, 2008. – 170 с.

2. Панченко А.Н. Аналитический метод определения тяговых сопротивлений почвообрабатывающих и землеройных машин и оценка их эффективности для энергосберегающих технологий. – Днепропетровск: Днипро, 1995. – 96 с.
3. Замойська К.В. Аналіз роботи роторного культиватора // Вісник Львівського державного аграрного університету. Серія „Агроінженерні дослідження”. Вип.7 – Львів: ЛДАУ. – 2003. – С. 147-152.
4. Замойська К.В. Вплив фізико-механічних властивостей ґрунту на якість роботи роторного культиватора. Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету. Вип. 13. – Кам’янець-Подільський: Абетка. – 2005. – С. 475-478.
5. Деклараційний патент на корисну модель 7435, Україна, МПК А01В33/00. Ротаційний розпушувач ґрунту / Замойська К.В., Бендера І.М., Бончик В.С. (Україна). Подільський державний аграрно-технічний університет (Україна) – № 20041210389; Заявл. 17.12. 2004; Опубл. 15.06. 2005; Бюл. № 6.

Аннотація. Приведены результаты теоретических исследований влияния конструктивных параметров ротационного рыхлителя почвы и физико-механических свойств почвы на степень ее измельчения.

Ключевые слова: роторный культиватор, почва, степень измельчения, прочность структурных агрегатов.

Annotation. The given results of the constructive and technological parameters of rotational soil loosener and physical-engineering soil properties theoretical researches influence on its shredding level.

Key words: rotor cultivator; soil; degree of its refinements; structural aggregates strength.

УДК 621.43 – 242. 001. 57

А.М. Оленюк, кандидат с.-г. наук, в. о. доцента,

М.В. Бойко, кандидат с.-г. наук, доцент,

П.П. Федірко, кандидат технічних наук, доцент ПДАТУ

РУХ ПОРШНЯ ПРОТЯГОМ ЦИКЛУ В МЕЖАХ ТЕПЛООВОГО ЗАЗОРУ

Запропонований метод розрахунку може використовуватися при аналізі впливу конструктивних параметрів поршня (положення центру тяжіння, зсуву вісі поршневого пальця, величини теплових зазорів та ін.) на кінематичні (переміщення, швидкість радіального переміщення тощо) і динамічні (сили, що діють на поверхнях сполучення деталей (шатунно-поршневої групи) (ШППГ)) показники всіх перекидань поршня протягом циклу.

Ключові слова: поршень, гільза, палець, тепловий зазор, тертя, знос, деформування, швидкість, кривошипно-шатунний механізм.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Під час роботи двигуна поршень здійснює поступальний хід уздовж циліндра і плоскопаралельний (перекидання) – в межах теплового зазору в площині коливання шатуна. Протягом циклу відбувається декілька перекидань поршня з одного боку циліндра на інший. Перекидання – одна з причин вібрації, шуму, а також підвищеного і нерівномірного зносу зв'язаних поверхонь деталей кривошипно-шатунного механізму двигунів внутрішнього згоряння. У зв'язку з цим проводяться дослідження перекидань і пошуки заходів щодо зниження небажаних явищ, пов'язаних з ними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми. Згідно аналізу літературних джерел [2, 5] рух поршня при перекиданні поділяється на декілька фаз: прилягання до ненавантаженої сторони; „вільний політ” без опори па циліндр; прилягання на навантаженому стороні; похиле положення з приляганням одночасно на навантаженому і ненавантаженому сторони. Для кожної фази руху складалося окреме рівняння, яке вирішувалося в строго обмежених кінцевих умовах. Такий розрахунковий метод дослідження руху поршня дуже громіздкий.

Формулювання цілей статті. Пропонується математична модель, що описує рух поршня протягом всього циклу в межах теплового зазору, дозволяє визначити кінематичні (переміщення, швидкість радіального переміщення та ін.) і динамічні (сили, що діють на поверхнях деталей кривошипно-шатунного механізму тощо) показники при всіх перекиданнях.