

УДК 631.333

Аналіз відцентрових робочих органів тукових машин і підвищення ефективності їх застосування

Г.В. Фесенко, К.В. Шарай

Луганський національний аграрний університет (м. Старобільськ, Україна)

Аналізуючи технологічний процес внесення мінеральних добрив при вирощуванні сільськогосподарських культур установлено, що найбільш поширеним способом їх внесення є поверхневий спосіб із застосуванням тукових машин із відцентровими робочими органами вітчизняного та зарубіжного виробництва. При цьому виявлені конструктивні особливості відцентрових робочих органів з нерухомо усталованими лопатками на дисках і з лопатками, наділеними пристроями, які приймають участь у корегуванні процесу розсіву мінеральних добрив та інших сипучих матеріалів під час роботи. Крім того, аналіз наукових праць відомих вчених, присвячених теоретичним дослідженням відцентрових розкидачів дозволив виявити напрямок по підвищенню рівномірності внесення сипучих матеріалів шляхом регульованого їх розподілу по ширині розсіву, а саме за рахунок використання потенційної енергії, накопиченої завчасно лопатками з подальшим її використанням при розсіві. Відомі конструкції відцентрових робочих органів з використанням потенційної енергії лопаток виявились не зовсім пристосованими для внесення мінеральних добрив при зміні умов роботи. Причиною цьому явилось те, що при зміні норми внесення добрив туковою машиною з відцентровим робочим органом, лопатка з накопиченою в ній потенційною енергією змінює характер свого прискореного руху при сході добрив з диску, що знижує показники їх внесення. На основі творчих пошуків розроблений відцентровий робочий орган, що забезпечує внесення мінеральних добрив та інших сипучих матеріалів з підвищеною рівномірністю при зміні технологічних умов. Особливість такого відцентрового робочого органу полягає в тому, що пружний пристрій кожної лопатки виконано у вигляді стрижня з механізмом його скручування у вигляді важеля з фіксатором. При зміні умов роботи рівномірність внесення мінеральних добрив залишається без змін за рахунок зміни важелем пружності стрижня лопаток.

Ключові слова: робочий орган, аналіз, добриво, внесення, рівномірність, дослідження, ефективність, прискорений рух, енергія, профіль, диск, пружина.

Актуальність проблеми. Одним джерел відновлення родючості ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських культур є своєчасне внесення мінеральних добрив, яке в більшості випадків виконується суцільним поверхневим способом туковими машинами, обладнаними відцентровими робочими органами, з усталованими на них лопатками [1]. До найголовніших показників, якими оцінюється робота таких машин, відноситься дотримання норми внесення мінеральних добрив та нерівномірність їх розподілу по поверхні поля [2]. Досить важливим показником роботи тукових машин є нерівномірність внесення ними мінеральних добрив, яка у виробничих умовах значно перевищує допустиму $\pm 25\%$, що знижує ефективність їх застосування [3]. Слід відмітити, що на рівномірність внесення мінеральних добрив суттєво впливає їх гранулометричний склад, який змінюється із-за руйнування гранул лопатками відцентрових робочих органів під час роботи тукової машини [4]. Виходячи із цього дослідження, спрямовані на підвищення ефективності застосування тукових машин з відцентровими робочими органами при вирощуванні сільськогосподарських культур, є досить актуальними.

Дослідженням, спрямованих на підвищення якісних показників відцентрових розкидачів мінеральних добрив присвячені праці видатних вчених: В.П. Горячкіна, П.М. Василенка, П.В. Сисоліна, Л.В. Погорєлова, П.В. Савича, В.В. Адамчука та інших. Робочий процес відцентрового робочого органу, як показав аналіз, ґрунтується на теорії руху матеріальної частки по обертовій поверхні, розробленої П.М. Василенко і складається із фази відносного переміщення часток добрив по диску і їх польоту в повітряному просторі після сходу з робочого органу [5]. Відомо, що під час обертального руху диска із сталим кутовим прискоренням першої фази, на частку добрив діє сила її ваги ($m \cdot g$), відцентрова сила переносного руху ($m \cdot r \cdot \omega^2$), сила Кориоліса ($2m \cdot \omega \cdot V_r$) та сила тертя ($f \cdot N$), при цьому нерівність, за якою визначається критична кутова швидкість ω обертального диска, наступна:

$$r_0 \cdot \omega^2 \leq f \cdot g. \quad (1)$$

Установлено, що при фазі відносного переміщення часток добрив по диску, на поведінку їх переміщення суттєво впливають лопатки, які можуть бути усталовані радіально або зміщені від

цього положення на відповідний кут. В загальному вигляді характер переміщення часток добрива по лопатках дисків доцільно представити наступним диференціальним рівнянням [6]:

$$y'' + ay' - by + A = 0 \quad (2)$$

$$a = K_{\Pi} + 2f \cdot \omega$$

де K_{Π} – коефіцієнт парусності частки добрива; f – коефіцієнт тертя ковзання; A, b, y – значення складових диференційного рівняння.

Друга фаза робочого процесу відцентрового робочого органу характеризується сходом частки добрив із краю лопаток з абсолютною швидкістю, на яку діють сила її ваги (mg) і сила опору повітря ($R = K_{\Pi} \cdot m \cdot V^2$). При цьому дальність польоту частки добрива, що злітає з диска під кутом до горизонту, визначається рішенням наступної системи диференціальних рівнянь:

$$\frac{dV_x}{dt} = -K_{\Pi} \cdot \cos \gamma,$$

$$\frac{dV_y}{dt} = -g \pm K_{\Pi} \cdot V^2 \cdot \sin \gamma, \quad (3)$$

де γ – змінне значення кута між вектором швидкості частки і горизонтом; V_x, V_y – швидкість польоту частки добрива, відповідно горизонтальна і вертикальна складові.

Слід відзначити значний внесок в подальший розвиток теорії руху часток по відцентровому диску вченими Заїкою П.М. [7], Адамчуком В.В. [8] та іншими вітчизняними науковцями.

Аналізуючи в цілому відцентрові робочі органи з установленими нерухомо пасивними лопатками слід відмітити, що під час їх роботи в складі тукової машини, частки добрив сходять з дисків майже з однаковою швидкістю як в ближні так і в дальні зони по ширині розсіву. При цьому в результаті накладання зон розсіву, маса добрив, що поступає на одиницю внесеної площі, зменшується з віддаленням від робочого органу, що призводить до нерівномірного їх розподілу по ширині розсіву [9]. Покращити показники роботи відцентрових робочих органів можливо за рахунок збільшення впливу лопаток на процес розсіву мінеральних добрив. Такими можливостями наділений відцентровий робочий орган з активними лопатками [10]. Під час роботи тукової машини з таким робочим органом, лопатки своїми діями корегують характер розподілення мінеральних добрив по ширині розсіву, що сприяє частковому зниженню нерівномірності їх внесення.

Суттєво підвищити показники внесення мінеральних добрив відцентровим робочим органом можливо за рахунок накопичення потенціальної енергії в пружних пристроях активних лопаток з наступним її використанням при розподіленні

добрив по площі. Такими властивостями наділений відцентровий робочий орган для розсіву сипучих матеріалів з підпружиненими лопатками [11]. При цьому, потенціальну енергію E_n , що накопичується в пружинному пристрої, визначається за наступною залежністю:

$$E_n = \frac{k(\Delta x)^2}{2}, \quad (4)$$

де k – жорсткість пружини [11]; Δx – зміщення пружини від положення рівноваги.

Під час роботи тукової машини з таким відцентровим робочим органом кожна лопатка 3 призупиняє свій рух при зустрічі її пальця 5 з відбивачем 7 і заповнюється мінеральними добривами без зміни його гранулометричного складу (рис.1).

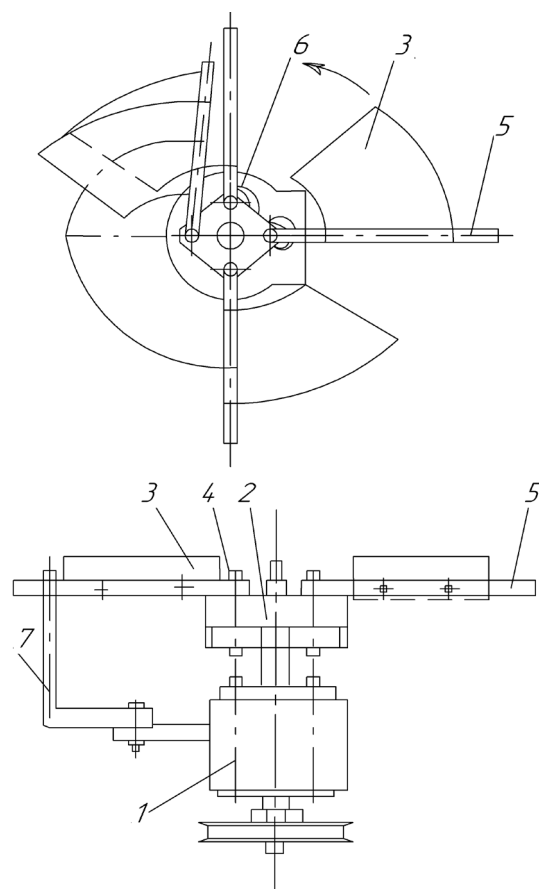


Рис. 1. Схема відцентрового робочого органу з активними лопатками: 1 – корпус; 2- ступиця; 3 – лопатка; 4- вісь лопатки; 5 – палець; 6 – пружина; 7 – відбивач

з подальшим провертанням лопатки 1 відносно осі 4 відбувається закручування пружини 6 з накопиченням в ній потенціальної енергії з подальшим її використанням після сходу пальця 5 з відбивача 7 для прискореного руху лопатки 3 з добривом, що дає можливість збільшити

дальність польоту їх часток. Вмісті з цим, при зміні норми внесення добрив туковою машиною з таким відцентровим робочим органом змінюється маса лопатки заповненої добривом, а отже змінюється і характер її прискореного руху, що знижує показники їх внесення. Слід відмітити, що кутове прискорення ε лопатки, яке характеризує зміну модуля і напрямку кутової швидкості ω під час руху лопатки такого робочого органу, визначається за залежністю:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}, \quad (5)$$

Підвищити якісні показники відцентрового органу з підпружиненими лопатками можливо за умови узгодженого їх руху з характером розподілення мінеральних добрив. Таким є відцентровий робочий орган, в якому прискорений рух лопаток при внесенні добрив узгоджений із закономірністю їх розподілу по ширині розсіву заданим профілем внутрішньої поверхні шайби [13] (рис.2).

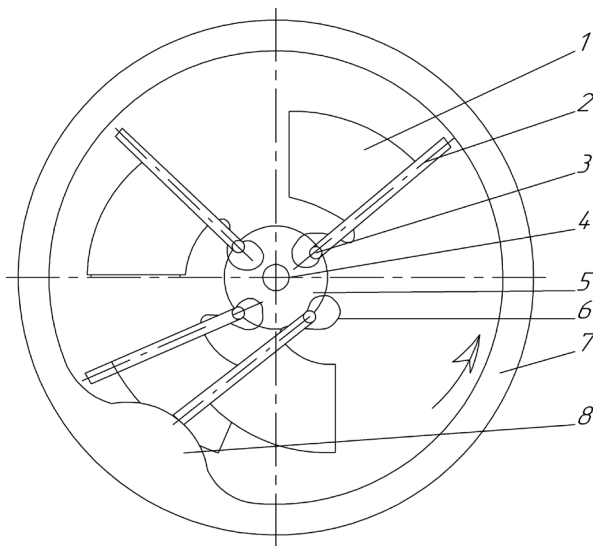


Рис. 2. Схема відцентрового робочого органу із регульованим рухом лопаток: 1 – лопатка; 2 – палець; 3 – вісь лопатки; 4 – привідний вал; 5 – маточина; 6 – спіральна пружина; 7 – профільна шайба; 8 – випуклість шайби.

При цьому характер переміщення (S_n) лопатки по внутрішній поверхні шайби функціонально цілком залежить від її профілю ($\Pi_{ш}$):

$$S_n = f(\Pi_{ш}). \quad (6)$$

Під час роботи тукової машини з таким відцентровим робочим органом, кожна лопатка 1, переміщуючись по внутрішній поверхні шайби 7, призупиняється її випуклістю 8 перед зоною надходження на лопатку 1 мінеральних добрив, стискаючи при цьому свою пружину 6. Після запов-

нення добривом лопатка 1 сходиться з випуклості 8 і під дією стиснутої пружини 6 починає рухатись із прискоренням по внутрішній поверхні шайби 7 у відповідності із заданою закономірністю її профілю, узгодженою із характером розподілу добрив по ширині розсіву. Внаслідок цього, як в ближні так і дальні зони розсіву по ширині захвату тукової машини, спрямовується однакова маса мінеральних добрив на одиницю площі, що підвищує рівномірність їх внесення. Вмісті з цим, при зміні умов роботи, що має місце при зміні виду або норми внесення добрив, може бути порушений безвідривний характер руху лопаток по профільній поверхні шайби 7 із-за непристосованості їх пружин 7 до таких змін. Внаслідок цього можлива зміна заданого характеру розподілення мінеральних добрив по ширині розсіву, що погіршує рівномірність їх внесення.

В результаті проведеного конструктивно-технологічного аналізу відомих відцентрових робочих органів встановлено, що відцентрові робочі органи із активними лопатками в більшій мірі забезпечують регульоване розподілення мінеральних добрив та інших сипучих матеріалів, а отже і більш рівномірне їх внесення. Вмісті з цим, відомі відцентрові робочі органи із активними лопатками при зміні умов роботи не в змозі забезпечити розподіл мінеральних добрив по площі з підвищеною рівномірністю.

На основі творчих пошуків знайдено технічне рішення, в якому вирішена задача підвищення рівномірності розсіювання сипучих матеріалів відцентровим робочим органом з активними лопатками при зміні умов роботи, яке характеризується тим, що осі лопаток виконані у вигляді пружного стрижня з механізмом його закручування [14]. Під час роботи такого відцентрового робочого органу кожна лопатка 1 з відхиленням від свого попереднього положення з початком переміщення пальцем 2 по випуклості 3 шайби 4, профіль якої відповідає заданому розподіленню матеріалу по площі, відбувається закручування свого стрижня 5 з одночасним накопиченням в ньому потенціальної енергії (E_{cm}) і заповненням її сипучим матеріалом (рис.3).

При цьому, величина потенціальної енергії, що накопичується в пружному стрижні 5, визначається за наступною залежністю [15]:

$$E_{cm} = \frac{c \cdot \varphi^2}{2}, \quad (7)$$

де c – жорсткість пружного стрижня; φ – кут закручування стрижня.

При сходженні лопатки 1 з випуклості 3 шайби 4, під дією сили пружності закрученого стрижня 5 лопатка 1, у відповідності із профільною поверхнею випуклості 3, набуває заданого

прискореного руху, під час якого потенційна енергія стрижня 5 переходить в кінетичну енергію лопатки 1 із сипучим матеріалом. В результаті прискореного руху лопатки 1, сипучий матеріал сходиться з неї з прискоренням у відповідності із заданим профілем випуклості 3 і заповнює рівномірно ближні і дальні зони розсіву. При зміні норми внесення сипучого матеріалу, наприклад мінеральних добрив, змінюють відповідно і силу пружності стрижнів 5 переміщенням важелів 6 у нове положення, забезпечуючи тим самим заданий прискорений рух кожної лопатки 1 із матеріалом, забезпечуючи там самим при зміні умов роботи рівномірне його розподілення по ширині розсіву.

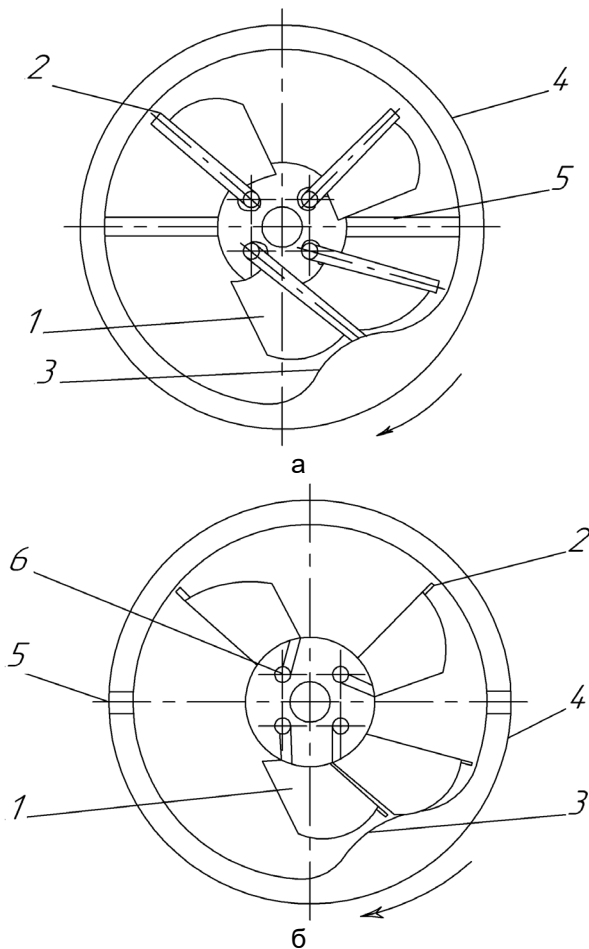


Рис. 3. Схема удосконаленого відцентрового робочого органу з активними лопатками: а – вид зверху; б – вид знизу; 1 – лопатка; 2 – палець; 3 – випуклість; 4 – шайба; 5 – стрижень; 6 – важіль.

На основі аналізу проведених механіко-технологічних досліджень відцентрових робочих органів тукових машин, виявлені їх конструктивні особливості, які явились основою конструктивного рішення удосконаленого робочого органу з розширеними можливостями рівномірного

внесення мінеральних добрив та інших сипучих матеріалів поверхневим способом з урахуванням технологічних умов.

Література

1. Войтюк Д.Г., Гаврилук Г.Р. Сільськогосподарські машини: підручник. Київ: Каравела, 2015. 552 с.
2. Сільськогосподарські і меліоративні машини: навчальний посіб. / О.Б. Кошук та ін. Київ: ІПТО НАПН України, 2015. 291 с.
3. Кравчук В.І., Грицигінна М.І., Ковалюк С.М. Сучасні тенденції розвитку конструкції с.-г. техніки. Київ: Аграрна наука, 2004. 396 с.
4. Лурье А.Б., Громбчевский А.А. Расчет и конструирование сельско-хозяйственных машин. М.: Машиностроение, 1977. 528 с.
5. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатой поверхности сельскохозяйственных машин. Киев: УАСХН, 1960. 283 с.
6. Якубаускас В.И. Технологические основы механизированного внесения удобрений. М.: Колос, 1973. 229 с.
7. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Машини для приготування і внесення добрив. – Харків: Око, 2002. Т. 1. 352 с.
8. Адамчук В.В. Теория центробежных рабочих органов для внесения минеральных удобрений: монография. Київ: Аграрна наука, 2010. 178 с.
9. Пономаренко Н.О. Результаты досліджень робочого органу машини для внесення добрив. Технологический аудит и резервы производства. 2014. № 6/1(20). С. 45-48.
10. А.с. 1099874 СССР, МКИ А01С17/00. Рабочий орган центробежного разбрасывателя минеральных удобрений / П. П. Карпуша, В. М. Дядя. № 3515070/30; заявлено 25.11.82; опубл. 30.06.84, Бюл. № 24.
11. А.с. 1625388 СССР, МПК А 01 С 17/00. Центробежный рабочий орган для рассева сыпучих материалов / Г.В. Фесенко, А.Г. Чигрин, В.И. Пастухов, Ю.В. Иванов, Б.А. Нефедов, В.А. Шмонин. № 4670567/15; заявл. 30.03.89; опубл. 07.02.91, Бюл. № 5.
12. Федорченко А.М. Теоретична механіка. Київ: Вища школа, 1975. 516 с.
13. Відцентровий робочий орган для розсіювання сипучих матеріалів: пат. 51807 Україна: МПК А 01 С 17/00. № 2000031501; заявл. 16.03.2000; опубл. 16.12.2002, Бюл. № 12.
14. Відцентровий робочий орган для розсіювання сипучих матеріалів: пат. 117438 Україна: МПК А 01 С 17/00. № а 2017 09282; заявл. 21.09.2017; опубл. 25.07.2018, Бюл. № 14.
15. Єжов С. М., Макарець М. В., Романенко О. В. Класична механіка: підручник. Київ: ВПЦ Київський університет, 2008. 480 с.

References

1. Vojtyuk, D. and Gavrilyuk, G. (2015). *Sil's'kogospodars'ki mashini: pidruchnik*. Kiiiv: Karavela, p.552.
2. Koshuk, O. (2015). *Sil's'kogospodars'ki i meliorativni mashini: navchal'nij posibnyk*. Kiiiv: IPTO NAPN Ukraïni, p.396.
3. Kravchuk, V., Griciginna, M. and Kovalya, S. (2004). *Suchasni tendencii rozvitku konstrukcii s.-g. tekhniki*. Kiiiv: Agrarna nauka, p.396.
4. Lur'e, A. and Grombchevskij, A. (1977). *Raschet i konstruirovaniye sel'skohozyajstvennykh mashin*. Moscow: Mashinostroenie, p.528.
5. Vasilenko, P. (1960). *Teoriya dvizheniya chasticy po sherohovatym poverhnostyam sel'skohozyajstvennykh mashin*. Kiev: UASKHN, p.283.
6. YAkubauskas, V. (1973). *Tekhnologicheskie osnovy mekhanizirovannogo vneseniya udobrenij*. Moscow: Kolos, p.229.
7. Zaïka, P. (2002). *Teoriya sil's'kogospodars'kih mashin. Mashini dlya prigotuvannya i vnesennya dobriv. T1*. KHarkiv: Oko, p.352.
8. Adamchuk, V. (2010). *Teoriya centrobezhnykh rabochih organov dlya vneseniya mineral'nykh udobrenij: monografiya*. Kiiiv: Agrarna nauka, p.178.
9. Ponomarenko, N. (2019). Rezul'tati doslidzhen' robochogo organu mashini dlya vnesennya dobriv. *Tekhnologicheskij audit i rezervy proizvodstva.*, 1(6), pp.45-48.
10. Karpusha, P. and Dyadya, V. (1984). *A01S17/00 Rabochij organ centrobezhnogo razbrasivatelya mineral'nykh udobrenij*. AS 1099874.
11. Fesenko G., CHygryn A., Pastuhov V. (1991). *A01S 17/00. Centrobezhnyj rabochij organ dlya rasseva sypuchih materialov*. A.S. 1625388
12. Fedorchenko, A. (1975). *Teoretichna mekhanika*. Kiiiv: Vishcha shkola, p.516.
13. *A 01 S 17/00 Vidcentrovij robochij organ dlya rozsiyuvannya sipuchih materialiv*. (2002). pat. 51807.
14. *A 01 S 17/00 Vidcentrovij robochij organ dlya rozsiyuvannya sipuchih materialiv*. (2018). pat. 117438.
15. Ezhov, S., Makarec', M. and Romanenko, O. (2008). *Klasichna mekhanika: pidruchnik*. Kiiiv: VPC Kiiivskij universitet, p.480.

Аннотация

Анализ центробежных рабочих органов туковых машин и повышение эффективности их применения

Г.В.Фесенко, К.В.Шарай

Анализируя технологический процесс внесения минеральных удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур установлено, что наиболее распространенным способом их внесения является поверхностный способ с применением туковых машин с центробежными рабочими органами отечественного и зарубежного производства. При этом выявлены конструктивные особенности центробежных рабочих органов с неподвижно установленными лопатками на дисках и с лопатками, наделенными устройствами, которые принимают участие в регулировании процесса рассеивания минеральных удобрений и других сыпучих материалов во время работы. Кроме того, анализ научных трудов известных ученых, посвященных теоретическим исследованиям центробежных разбрасывателей, позволил выявить направление по повышению равномерности внесения сыпучих материалов путем регулируемого их распределения по ширине рассеяния, а именно за счет использования потенциальной энергии, накопленной заблаговременно лопатками с дальнейшим ее использованием при рассеве. Известные конструкции центробежных рабочих органов с использованием потенциальной энергии лопаток оказались не совсем приспособленными для внесения минеральных удобрений при изменении условий работы.

Причиной этому явилось то, что при изменении нормы внесения удобрений туковой машиной с центробежным рабочим органом, лопатка с накопленной в ней потенциальной энергией изменяет характер своего ускоренного движения при схождении удобрений из диска, что снижает показатели их внесения. На основе творческих поисков разработан центробежный рабочий орган, который обеспечивает внесение минеральных удобрений и других сыпучих материалов с повышенной равномерностью при изменении технологических условий. Особенность такого центробежного рабочего органа заключается в том, что упругое устройство каждой лопатки выполнено в виде стержня с механизмом его скручивания в виде рычага с фиксатором. При изменении условий работы равномерность внесения минеральных удобрений остается без изменений за счет изменения рычагом упругости стержня.

Ключевые слова: рабочий орган, анализ, удобрение, внесение, равномерность, исследование, эффективность, ускоренное движение, энергия, профиль, диск, пружина.

Abstract

Analysis of centrifugal workings organs of tukovikh machines increase of efficiency of their application

G.V. Fesenko, K.V. Sharay

Analysing the technological process of bringing of mineral fertilizers at growing of agricultural cultures set, that the most widespread method of their bringing is a superficial method with application of tukovikh machines with the centrifugal workings organs of domestic and foreign production. Thus found out the structural features of centrifugal workings organs with the motionlessly set shoulder-blades on disks and with shoulder-blades, allotted devices which take part at the koreguvanni process of dispersion. In addition, analysis of scientific labours of the known scientists, devoted theoretical research of the centrifugal throwing about allowed to find out direction on the increase of evenness of bringing of friable materials by managed their distributing on the width of dispersion, namely due to the use of potential energy, accumulated in advance shoulder-blades with its subsequent using for dispersion. The known constructions of centrifugal workings organs with the use of potential energy of shoulder-blades appeared not quite. By reason it got that at the change of norm of top-dressing by a tukovoy machine with a centrifugal working organ, a shoulder-blade with the potential energy accumulated in it changes character of the speed-up motion at east of fertilizers from a disk which reduces the indexes of their bringing. On the basis of creative searches a centrifugal working organ which provides bringing of mineral fertilizers and other friable materials with enhanceable evenness at the change of technological terms is developed. Feature of such centrifugal working organ

Keywords: *working organ, analysis, fertilizer, bringing, evenness, research, efficiency, speed-up motion, energy, type, disk, spring.*

Представлено від редакції: В.І. Мельник / Presented on editorial: V.I. Melnyk

Рецензент: О.І. Анікеєв / Reviewer: O.I. Anikejev

Подано до редакції / Received: 28.12.2018