

УДК 631.333

## ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКЦІЙНИХ СХЕМ МАШИН ДЛЯ РОЗСІВАННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

**В. Мойсеєнко**, канд. техн. наук, **В. Ратушний**, канд. техн. наук,  
ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

*Надано пропозиції щодо підвищення технічного рівня і конкурентоспроможності вітчизняних навісних машин для розсіювання добрив, що полягають у збільшенні місткості бункера до 1,2 м<sup>3</sup> шляхом оптимізації його форми, підвищення рівномірності розсіювання добрив і зменшення подрібнення гранул, застосування нової форми дозувального отвору та ворушилки, збільшення робочої ширини захвату до 36 м шляхом оптимізації форми і кута нахилу лопаток відцентрового диска та частоти його обертання.*

**Ключові слова:** мінеральні добрива, технологічно-конструкційна схема, навісні машини, дозувальний отвір, ворушилка, лопатка відцентрового диску.

**Суть проблеми.** За теперішнього дефіциту органічного удобрення ґрунтів мінеральні добрива є основним джерелом їх збагачення поживними речовинами і відповідного, причому надійного, підвищення урожайності. На жаль, і виробництво мінеральних добрив суттєво знизилось. Так, якщо в 1990 році на гектар ріллі вносилося 190 кг, то в 2012 році лише 70 кг.

Враховуючи цю мізерну, у порівнянні з країнами Заходу, кількість використовуваних добрив, важливим завданням наших хліборобів є їх ефективне застосування, що в першу чергу залежить від своєчасності внесення добрив у ґрунт і рівномірності їх розподілу по полю, а для цього необхідні відповідні машини.

Наша країна має матеріали, вільні виробничі потужності та інженерні кадри, щоб забезпечити не лише своїх селян високоякісними і за прийнятними цінами машинами для розсіювання мінеральних добрив, а й експортувати такі машини в країни близького зарубіжжя.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За даними науковців УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого наша країна стала привабливим місцем збуту зарубіжних машин для розсіювання мінеральних добрив [1]. Так, за квартал в Україні реалізовується близько 250 таких машин на загальну суму понад 2,5 млн доларів США за середньою ціною однієї машини більше 10 тис. доларів. І це при тому, що в нашій країні понад десяток підприємств виготовляють аналогічні машини і не можуть їх збути у необхідній для

функціонування підприємства кількості за ціною, що у 3-6 разів нижча зарубіжних. Причому продають нам такі машини країни, які раніше їх ніколи не розробляли – Білорусь, Польща, Туреччина, а у нас в Запоріжжі, при СРСР, був цілий інститут такого профілю.

В чому ж перевага зарубіжних машин?

В тому, що ці машини краще пофарбовані і більш естетичні, – найчастіше говорять «спеціалісти», які не хочуть бачити справжніх причин нашого відставання, хоча доля істини є і в їх думці.

Насправді, перевага зарубіжних машин полягає: у більшій робочій ширині захвату – 36 м проти 24 м, а це підвищення продуктивності, зменшення потреби в машинах та відповідне зниження питомої витрати пального, ущільнення ґрунту і пошкодження рослин при їх підживленні; нижча нерівномірність розсіювання добрив – 12,2% проти 18,7% [2], а це підвищення урожайності і якості урожаю; менше пошкодження гранул добрив з утворенням пилоподібної фракції, яка дуже погано розсіюється відцентровим апаратом, неефективно використовується рослинами, на значні відстані відноситься вітром, осідає на деталях машини і трактора, прискорюючи їх корозію; більший робочий ресурс машини завдяки тому, що усі деталі, що підлягають фарбуванню, зарубіжні фірми обезжирюють і подетально проводять тришарове фарбування хімічно стійкими ґрунтовками і фарбами [3].

Причина цього відставання в тому, що наші науковці-механізатори основну увагу у своїх дослідженнях приділяють розробленням теорій взаємодії робочих органів сільськогосподарської техніки з об'єктами їх роботи, але одержані результати не забезпечують вдосконалення машин.

**Мета досліджень** – обґрунтувати оптимальні технологічно-конструкційні схеми машин для розсіювання мінеральних добрив.

**Результати досліджень.** В господарствах країни для розсіювання мінеральних добрив використовуються навісні і напівпрічипні машини відцентрового типу, основними частинами яких є місткість для добрив, дозувальний пристрій та розсіювальний апарат.

В навісних машинах місткістю для добрив є бункер, причому його об'єм обмежує поздовжня стійкість трактора, яка залежить не тільки від місткості бункера, а і його форми, яка обумовлює відстань від центра маси завантаженої добривами машини до осі задніх коліс трактора. Тому параметри бункера навісної машини необхідно вибирати під конкретний трактор з об'ємом, максимально допустимим його поздовжньою стійкістю.

Для найбільше поширеного у сільськогосподарському виробництві трактора класу 1,4 оптимальним об'ємом бункера є 1,2 м<sup>3</sup>, причому для забезпечення поздовжньої стійкості машини при такому його об'ємі сторони прямокутника основи зрізаної піраміди, яка є його нижньою частиною, розміщені перпендикулярно до напрямку руху машини, повинні мати більшу довжину, ніж сторони, розміщені паралельно цьому напрямку. В результаті

центр маси машини наблизиться до осі задніх коліс трактора і його поздовжня стійкість буде забезпечена, а естетика машини навіть покращиться, як у провідних фірм цієї галузі: Kuhn (Франція) [4] та Rauch (ФРН) [5].

До трактора класу 0,6 доцільно розробити навісну машину з місткістю бункера 0,4 м<sup>3</sup>. Такі недорогі машини будуть користуватись попитом у господарів дрібних ферм, що мають трактори Т-25.

Зарубіжні фірми також виробляють навісні машини до трактора класу 3,0 з об'ємом бункера 1,5-2,5 м<sup>3</sup>, але таких машин в нашій країні розробляти не варто, оскільки їх продуктивність у порівнянні з машиною з об'ємом бункера 1,2 м<sup>3</sup> зростає не суттєво, а питомі витрати пального та прямі експлуатаційні витрати збільшаться більше як удвоє за рахунок збільшення маси трактора та вартості його і машини [2].

Дозатори відцентрових машин призначені для рівномірної із заданою інтенсивністю видачі добрив із місткості машини на відцентровий апарат.

В сучасних навісних машинах використовуються, як правило, гравітаційні дозатори, які працюють за принципом піскового годинника. Для цього в днищі бункера робиться отвір, через який під дією сил земного тяжіння висипаються частинки добрив.

При розробленні гравітаційного дозатора основною проблемою є вибір оптимальної форми випускного отвору. Ще в сімдесятих роках минулого століття, при масовому запровадженні таких дозаторів, зарубіжні фахівці вважали, що для рівномірного розсіювання добрив, вони повинні надходити на лопатки диска потоком чим більшої довжини. Тому цей отвір виготовляли у вигляді довгастого прямокутника, довжина якого у 6 разів перевищувала його ширину і спрямовувалась по радіусу днища і по величині була близькою до нього. Причому спеціалістам фірми «Amazone» і така довжина випускного отвору здалася малою, і для її збільшення вони зігнули довгастий отвір по дузі кола, в результаті чого їх довгасто-дугастий отвір став схожим на молодого місяця.

Такий дозатор повинен забезпечувати, як мінімум, десятикратну зміну дози розсівання добрив, наприклад, від 50-500 кг/га. Для цього дозувальний отвір обладнується заслінкою для регулювання площі живого перерізу шляхом зміни його ширини. Але при розсіванні мінімальних доз добрив (50 кг/га), щоб забезпечити необхідну площу живого перерізу, його ширина стає близькою до 4 мм, тобто майже дорівнює максимально допустимому стандартом діаметру гранули добрив. Тому під час роботи машини цей живий переріз постійно забивається частинками добрив (нестандартними гранулами, подвійними гранулами, що склеїлись в процесі грануляції, грудочками злежаних добрив), а також сторонніми предметами. В результаті

цього знижується установлена доза розсівання добрив, тобто порушується робочий процес машини.

Для усунення цього недоліку вал приводу відцентрового диска був подовжений і через центральний отвір у днищі проходив у бункер, до якого нерухомо закріплювалась ворушилка у вигляді металічної пластини, довжина котрої близька до внутрішнього діаметра днища, а зазор між цією ворушилкою і днищем становить 1 мм.

Така ворушилка забезпечує очищення випускного отвору від частинок добрив з наднормативними розмірами, але під час її роботи гранули добрив защемляються між крайкою випускного отвору днища та пластиною ворушилки і перерізуються, як ножицями. Причому кількість пошкоджених гранул пропорційна довжині випускного отвору та частоті обертання ворушилки. Крім того, при попаданні в бункер навіть маленьких предметів високої твердості (шплінтів, гаечок, болтиків і т. п.) неминуче їх заклинювання між крайкою випускного отвору та ворушилкою і поломка приводного вала, з'єднувальної муфти або редуктора.

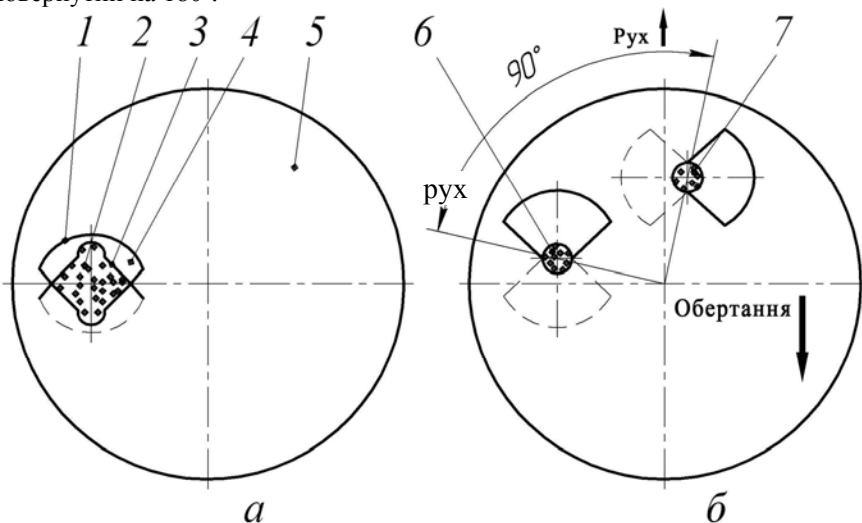
Але найбільша біда в тому, що цей довгасто-дугастий випускний отвір, як молодий місяць, діє на психіку наших конструкторів і вони вважають, що це вершина дозаторської творчості. Його ще понад 30 років тому радянські конструктори використали на машині НРУ-0,5А і, на жаль, цей дозувальний пристрій став зразком для наслідування. Ще з півдесятка вже українських підприємств використали його під час розроблення навісних машин.

Правда, окремі конструктори намагаються покращити цей дозувальний пристрій збільшенням зазору між ворушилкою і днищем бункера, зміною форми ворушилки та зменшенням частоти її обертання. Це значно ускладнює механізм приводу ворушилки, але проблеми не вирішує. При цьому дійсно виключається подрібнення гранул добрив, але за рахунок погіршення якості їх розсіювання.

Причина в тому, що випускний отвір залишається незмінним, і тому забиватись частинками добрив він не перестає, а нова ворушилка його очищення не забезпечить. Тому погіршення якості роботи машини безсумнівно є, але його «на око» не визначиш.

Зарубіжні спеціалісти ще 30 років тому зрозуміли, що рівномірність розсіювання добрив не залежить від радіальної довжини випускного отвору, оскільки при співударянні частинок добрив з лопатками відцентрового диска відбувається їх розосередження вздовж лопатки. Тому вони відмовились від довгастих отворів, а нові форми випускних отворів днища і регулювальної заслінки вибирають такими, щоб при розсіюванні мінімальних доз його живий переріз мав форму близьку до круга, який по теорії сипкого середовища [6], при рівних площах, найменш схильний до збивання великими частинками, а при розсіванні більших доз щоб він не мав вузьких щілин, в яких виникають зони нерівномірного висипання добрив через застрявання в них їх частинок.

Найбільш повно цим вимогам відповідає дозувальний отвір, приведений на рисунку 1. У днищі 4 бункера отвір 3 складається з півкруга, з кінцями якого з'єднані два відрізки прямих, кут між якими  $90^\circ$ , а другі їх кінці сполучені дугою кола. В регулювальній заслінці 5 отвір 1 такої ж форми, але повернутий на  $180^\circ$ .



*а) дводискової машини (при максимальній дозі),  
б) однодискової машини (при мінімальній дозі):  
1 – отвір у заслінці; 2, 6, 7 – живий переріз випускного отвору;  
3 – отвір у днищі; 4 – днище; 5 – заслінка.*

**Рисунок 1 – Гравітаційний дозатор (вид знизу)**

Під час розсіювання мінімальної дози, яка в господарствах України є середньою, центри півкругів днища 4 і 5 заслінки суміщаються (рис. 1, б) і живий переріз випускного отвору має форму круга, тобто є оптимальним, а при розсіванні решти доз – форму квадрата (рис. 1, а), дві протилежні вершини якого округлені півкругами, тобто в ньому вузькі щілини відсутні.

За використання таких нових форм випускних отворів значно знижується роль ворухилки, оскільки під час розсіювання і мінімальних доз частинки добрив не будуть застрягати в них, а великі грудочки і сторонні предмети відбираються захисною решіткою бункера.

Тому роль ворухилки зводиться до унеможливлення утворення над випускними отворами у добривах склепінь (пустот) і вона може мати форму пруткового гвинта [3], зірочки [4], крильчатки або пальця [5]. Причому зазор

між ворущилкою і днищем може бути значно більшим розміру гранул, а частота їх обертання знижена до  $15 \text{ хв}^{-1}$ .

Але необхідно враховувати, що від площі проекції контуру траєкторії руху ворущилки на горизонтальну площину залежить схильність добрив до утворення склепінь над випускним отвором, тобто їх зависання у бункері. А оскільки у багатьох господарствах використовується лише одна машина, то вона повинна забезпечувати розсіювання усіх видів добрив, в тому числі таких слабосипких, як пресовані комплексні і калійна сіль. Для того щоб ці добрива не зависали в бункері площа проекції контуру траєкторії руху ворущилки на днище бункера повинна дорівнювати його площі.

Цим вимогам повністю відповідає ворущила, виконана у вигляді гребінки, спрямованої пальцями до випускного отвору, яка повністю виключає перерізування гранул.

Робоча ширина захвату машини залежить від кута розсіювання добрив диском, дальності польоту їх частинок та щільності їх розподілу по ширині смуги розсіювання.

Оптимальний кут розсіювання добрив близький до  $180^\circ$ , а при його зменшенні знижується і ширина захвату.

Дальність польоту добрив залежить від частоти обертання диска, кута спрямування векторів швидкостей частинок добрив до горизонту в момент їх злітання з лопаток та чистоти робочої поверхні лопаток.

Із збільшенням частоти обертання диска зростає і дальність польоту частинок добрив, але граничним її значенням є  $1000 \text{ хв}^{-1}$ , оскільки при її перевищенні розбиваються гранули лопатками диска, а оптимальне – близько до  $900 \text{ хв}^{-1}$ .

При збільшенні кута польоту частинок добрив до горизонту угору, в момент їх відриву від лопаток, до  $25^\circ$  також зростає і дальність польоту добрив, причому цей кут є оптимальним, оскільки при його подальшому збільшенні дальність польоту не зростає, а висока траєкторія їх польоту збільшує негативний вплив вітру. Для спрямування добрив під кутом угору під таким же кутом встановлюють лопатки. Для цього штампуванням або гнуттям із листової сталі товщиною 2 мм виготовляється конусний диск з таким же нахилом твірних. При відсутності необхідного обладнання чи кваліфікованого жерстяника можна використати лопатки з аналогічним кутом загину їх кінців.

Наші спеціалісти абсолютно не звертають увагу на чистоту робочої поверхні лопаток. Вона, як правило, взагалі не обробляється, а лише фарбується. При цьому зростає коефіцієнт тертя добрив по лопатці, а швидкість злітання частинок добрив з лопаток зменшується. Тому для збільшення робочої ширини захвату машини робочу поверхню лопаток необхідно, як в зарубіжних машинах, полірувати.

В зв'язку з тим, що добрива відцентровим апаратом розсіюються по ширині захвату нерівномірно, а їх щільність розподілу близька до

нормального закону, то для одержання заданої агровимогами нерівномірності, суміжні смуги їх розсіювання перекриваються. Причому чим більша щільність по середині смуги розсіювання, тим необхідне більше їх перекриття і менша робоча ширина захвату. Оскільки під час роботи лопаток частина добрив відбивається їх верхніми крайками і, не одержавши необхідної швидкості, вони випадають в середній частині смуги розсіювання, то чим більше лопаток на диску, тим менша ширина захвату машини. Виходячи з цього, на сучасних відцентрових апаратах використовується по дві лопатки.

Щодо конструкції лопаток, то оптимальною формою їх поперечного перерізу є П-подібний короб, спрямований боковими крайками у напрямку колової швидкості диска, який забезпечує розсіювання великих доз добрив і вільний (без затискання) рух їх частинок та злітання усіх добрив з лопаток тільки на їх кінцях, тобто після набуття ними максимальної швидкості, що обумовлює збільшення ширини захвату машини.

Відносно лопаток різної довжини, з регульованою довжиною, з регульованим кутом їх установлення до радіуса диска, які широко використовуються в зарубіжних машинах, то все це атрибути конкурентної боротьби, які значно ускладнюють розсіювальний апарат і знижують його надійність, а в результаті – зменшення робочої ширини захвату та зниження рівномірності розсіювання добрив.

Відцентрові апарати використовуються дводискові і однодискові. Під час роботи дводискового апарата правий за напрямком руху машини диск повинен обертатися проти годинникової стрілки і розсівати добрива назад і праворуч, а лівий – за годинниковою – і назад і ліворуч, в результаті чого забезпечується загальний кут розсіювання добрив близький до оптимального ( $180^\circ$ ).

Під час роботи однодискового апарата напрямком обертання диска значення не має. При його обертанні за годинниковою стрілкою однією чвертю диска добрива повинні розсіюватись праворуч і назад, а суміжною з нею чвертю – назад і ліворуч, що також забезпечує кут розсіювання добрив близький до оптимального. Але для цього в днищі бункера повинно бути два випускних отвори, а кут між цими отворами повинен дорівнювати  $90^\circ$  (рис. 1, б).

Однодискова машина за конструкцією значно простіша дводискової (в ній відсутні: один диск, одне днище з дозатором, два конічних редуктори з деталями їх закріплення, два зв'язувальні вали з муфтами) і тому її маса в середньому на 100 кг менша, за рахунок чого можна відповідно збільшити його вантажомісткість. Ця машина надійніша в роботі і в середньому на третину дешевша. Причому, як показали приймальні випробування однодискової машини МРД-4, розробленої в ННЦ «ІМЕСГ», в УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, її робоча ширина захвату становить 33 м при нерівномірності 14,3%, а аналогічні показники вітчизняних дводискових машин – відповідно 18 м і 18, 7% [2, 7].

Разом з тим переважна більшість навісних вітчизняних машин виготовляються дводисковими. Причина в тому, що вітчизняні розробники і покупці таких машин орієнтуються на зарубіжні машини, які переважно дводискові. Але зарубіжні машини обладнуються пристроями для відключення роботи одного диска під час розсіювання добрив на краю поля. В наших машинах такі пристрої взагалі відсутні, але стійкий прецедент дводисковості залишився.

В традиційних напівпричіпних машинах місткість для добрив має форму кузова, що опирається на колеса, і тому його об'єм необмежений, але під час його вибору необхідно вирішувати дві суперечливі задачі. При збільшенні його об'єму зростає змінна продуктивність за рахунок зменшення кількості зупинок для заповнення кузова добривами. Але при цьому зростає маса і ціна машини, а також зростають питома витрата пального та прямі експлуатаційні витрати. Тому за середньої дози розсіювання добрив 70 кг/га місткість кузова не повинна перевищувати 5 м<sup>3</sup>.

Дозувальний пристрій таких машин складається з прутково-пластинчастого живильника та регулювальної заслінки, причому для забезпечення незалежності дози розсіювання добрив від швидкості агрегату привід живильника необхідно здійснювати від колеса машини.

Незаперечними перевагами таких машин є здатність розсіювання добрив і хімеліорантів будь-якої якості і вологості та можливість завантаження добрив у кузов безпосередньо автосамоскидом-перевантажувачем САЗ-3502.

В останні роки частина зарубіжних фірм виготовляють новий тип напівпричіпних машин (які чомусь називають причіпними), які, по суті, є навісними машинами зі збільшеним до 3-4 м<sup>3</sup> бункером, котрі встановлені на двоколісні візки. Причому три вітчизняні підприємства впроваджують такі машини.

На перший погляд, прекрасне рішення – навісна машина зі збільшеним у 3-4 рази бункером, але якщо придивитись уважніше, то і її маса і ціна у 3-5 разів вищі і близькі за цими показниками до традиційних аналогів. Причому роботоздатність цих машин у порівнянні з навісними навіть погіршується, оскільки при більш високому рівні добрив у бункері вони сильніше ущільнюються біля його днища, втрачають сипкість і можуть зависати над випускним отвором. Крім того, за рахунок опору чотиритонного напівпричепа агрегат з цією машиною втрачає прохідність у порівнянні з навісною. Тому за нерівного рельєфу та неоднорідного агрегатного стану чи вологості ґрунту тракторист буде змушений перемикає швидкості, а це призведе до порушення встановленої дози висівання добрив, що неприпустимо.

Щодо змінної продуктивності, то вона у навісних і напівпричіпних машинах приблизно однакова. Хоча напівпричіпні машини рідше зупиняються для завантаження добрив, але з використанням перевантажувальної технології добрива доставляються в поле автомобілями, а ручне їх перевантажування здійснюється на поворотних смугах. Тому



переїзди машин відсутні, а машини з більшою місткістю кузова відповідно більше простоюють під час перевантаження добрив. За використання прямоочної технології напівпричіпні машини витрачають багато часу на переїзди від поля до сховища добрив, завантаження добрив і рух в зворотному напрямку, і їх змінна продуктивність буде навіть нижчою ніж причіпних машин. Тому найбільш раціональною машиною для розсіювання мінеральних добрив в наших господарствах є навісна однодискова відцентрова машина з місткістю бункера 1,2 м<sup>3</sup>. І лише за наявності в господарстві автосамоскида-перевантажувача СА3-3502 або добрив і хіммеліорантів, яких навісною машиною внести неможливо, доцільно використовувати напівпричіпну традиційну машину МРД-4. Щодо напівпричіпних машин нового типу, то вони не мають майбутнього.

Щодо перевантажувача добрив в м'яких контейнерах масою 1000 кг ПТ-1П [8] з транспортного засобу в бункер машини, то він забезпечує механізацію ручної праці і зменшує простоювання удобрювальних агрегатів під час перевантажування добрив, але краще його монтувати на автомобілі, тоді не потрібно буде возити по полю додатковий вантаж масою 500 кг, і один перевантажувач зможе одночасно обслуговувати кілька удобрювальних агрегатів.

### **Висновки**

1. Виходячи з середньої дози внесення добрив основною машиною для розсіювання таких добрив повинна бути однодискова відцентрова машина з об'ємом бункера 1,2 м<sup>3</sup>, максимальній робочій ширині захвату не менше 36 м і нерівномірності розсіювання добрив не вище  $\pm 15\%$ .

2. За наявності в господарстві слабосипких добрив та хіммеліорантів, які неможливо розсіювати навісною машиною, а також при наявності автосамоскида-перевантажувача СА3-3502 економічно доцільно використовувати напівпричіпну машину кузовного типу з об'ємом кузова 5 м<sup>3</sup>.

### **Література**

1. В. Погорілий, С. Любченко, В. Войновський. Розкидачі міндобрив // Farmer – 2011 - № 9.- С.16-18.

2. О. Ковальчук, Г. Сало, Г. Сліпець. Економічна ефективність використання розкидачів мінеральних добрив // Техніка і технології АПК.- 2012.-№5.-с.27-29.

3. Машини для розсіювання добрив ZA-M// Проспект фірми Amazone (ФРН).

4. Машина для розсіювання добрив KUHN // Проспект фірми Kuhn (Франція).

5. Машины для розсівання добрив Rauch // Проспект фірми Rauch (ФРН).

6. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов /Зенков Р.Л. – М: Машиностроение, 1964.-297 с.

7. Погорілій В. Машина для розсівання мінеральних добрив МРД-4 // Техніка АПК - 2006-№ 1-2 – С.48.

8. Машины для використання добрив //Проспект ОАО «Хмільниксільмаш».

### **Аннотація**

*Приведены предложения по повышению технического уровня и конкурентоспособности отечественных навесных машин для рассеивания удобрений, суть которых состоит в увеличении ёмкости бункера до 1,2 м<sup>3</sup> путем оптимизации его формы, повышении равномерности рассеивания удобрений и уменьшения их измельчения применением новой формы дозирующего отверстия и ворошилки, увеличение рабочей ширины захвата до 36 м путем оптимизации формы и угла наклона лопаток центробежного диска и частоты его вращения.*

### **Summary**

*Propositions to improve the technological level and competitiveness of the domestic machines for fertilizers distribution, which lie in increasing the hopper capacity to 1.2 m<sup>3</sup> by optimizing its shape, improving the uniformity of distribution of fertilizer and pellets grinding reduce using a new dosing hole shape and agitator, increased working width up to 36 m by optimizing the shape and angle of centrifugal disc blades and frequency of its rotation are given.*