

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ РІЗАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З УРАХУВАННЯМ САМООРГАНІЗАЦІЇ І ЕВОЛЮЦІЇ ГЕОМЕТРИЧНИХ ФОРМ

Анатолій Фомін, Олександр Костенюк, Олександр Тетерятник, Галина Боковня

*Київський національний університет будівництва і архітектури
e-mail: teteryatnik@ua.fm*

DESIGN THE CUTTING ELEMENTS IN VIEW OF SELF-ORGANIZATION AND EVOLUTION OF GEOMETRIC SHAPES

Anatoly Fomin, Aleksandr Kostenyuk, Aleksandr Teteryatnik, Galina Bokovnya

Kyiv National University of Construction and Architecture

АНОТАЦІЯ. *Описані принципи розробки конструкцій робочих органів динамічних траншеєкопачів безперервної дії, їх різальних елементів і робочих процесів як механічної складової мехатронних систем на основі дії гравітаційного поля і самоорганізації та еволюції геометричних форм.*

Ключові слова: *мехатронний принцип, траншеєкопач, самоорганізація, еволюція геометричних форм, гравітаційне поле, ентропія, знос різального елемента, синергетичний зв'язок.*

АННОТАЦИЯ. *Описаны принципы разработки конструкций рабочих органов динамических траншеекопателей непрерывного действия, их режущих элементов и рабочих процессов как механической составляющей мехатронных систем на основе действия гравитационного поля и самоорганизации и эволюции геометрических форм.*

Ключевые слова: *мехатронный принцип, траншеекопатель, самоорганизация, эволюция геометрических форм, гравитационное поле, энтропия, износ режущего элемента, синергетическая связь.*

ABSTRACT. Purpose: *development of designs working bodies and cutting elements of trenchers and working process as mechanical component of mechatronic systems, based on the gravitational field and the self-organization and evolution of geometric shapes. Methodology/approach* mechatronics is the synergistic principle of combining units precision mechanics of electronic, electrical and computer components and software to control the movements of functional machines. **Findings:** *consideration of the natural connections between elements that are synergistic nature of the different aspects of interaction between the iconic elements of mechatronic complex forming system to develop working environments can significantly reduce the energy intensity of soil destruction. Research limitations/implications:* *there are technical solutions allow mechanical build complex mechatronic based on the principle that will significantly reduce energy development soil, improve mass and volume parameters of the machine and increase the efficiency of their business processes. Originality/value:* *reducing energy intensity extraction of soil due to the synthesis of mechanical systems as complex mechatronic component.*

Key words: *mechatronic principle, trencher, self-organization, the evolution of geometric shapes, gravitational field, entropy, wear of the cutting element, synergic connection.*

ВСТУП

Робочі процеси ґрунторуйнуючої техніки за комплексного і системного підходу досліджуються як системи, що складаються з таких значимих елементів підсистеми комплексу як робоче середовище, ґрунторуйнуюча техніка, власне процеси взаємодії ґрунторуйнуючої техніки з робочим середовищем і зовнішні впливи. Крім того, цій системі притаманний синергетичний характер взаємодії між складовими підсистемами.

Із аналізу досліджень, викладених в роботах [1, 2], можна зробити висновок, що

подальший розвиток ґрунторуйнуючої техніки та їх робочих процесів полягає в застосуванні мехатронного принципу для розробки конструкцій ґрунторуйнуючих машин і формуванні їх робочих процесів. Мехатронний принцип полягає в синергетичному об'єднанні вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними і комп'ютерними компонентами та програмного забезпечення з метою керування функціональними рухами машин.

Невирішеною проблемою є зменшення енерговитрат, матеріалоемності техніки та підвищення точності рухів робочих органів ґрунторуйнуючих машин.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є розробка заходів з максимального зменшення енергоємності розробки ґрунтів за рахунок удосконалення конструкцій ґрунторозроблювальної техніки на основі застосування дій гравітаційного поля і синергетичного аналізу взаємодії всіх складових систем робочих процесів машин.

Задачею дослідження є розробка механічних складових мехатронного комплексу ґрунторуйнуючих машин.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Особливістю розробки механічних компонентів мехатронних систем є вимоги максимального зменшення розмірів устаткування, компактність його компоновання та врахування самоорганізації і еволюції геометричних форм ґрунторуйнуючих різальних елементів.

Значне зменшення розмірів ґрунторуйнуючого устаткування можна досягти за рахунок перерозподілу енергетичних потоків (встановлення індивідуального двигуна безпосередньо на робочому органі) та особливості орієнтації робочого органа відносно забою. Принципи формування ґрунтового забою базуються на залученні існуючих природних фізичних полів до процесу руйнування робочих середовищ. Відомо, що всі реальні матеріальні процеси в природі в загальному результаті протікають в бік збільшення ентропії, тому процеси руйнування робочих середовищ повинні бути співспрямовані з напрямком самодовільного протікання природних процесів, тобто реалізовувати принцип ентропійного руйнування.

Зазначені принципи закладено в дисковому робочому органі траншеєкопача [3], що становить диск з різальними і транспортувальними елементами, які розташовані на його робочій поверхні. Нахил диску під деяким кутом α в вертикальній площині у напрямку, протилежному швидкості подачі, формує забій таким чином, що ґрунт знаходиться над робочим органом (рис. 1). Завдяки цьому сила тяжіння, яка створюється

гравітаційним полем, діє на частинки ґрунту і спрямована на відрив цих частинок від забою. Це приводить до зменшення необхідної сили руйнування робочого середовища.

Крім того, ґрунт над робочим органом постійно знаходиться під дією хвиль напружень (деформацій), які виникають під час одиночних сколів ґрунту внаслідок високої швидкості різання. В об'ємі ґрунту, що знаходиться над диском, формується коливально-хвильовий напружено-деформований стан, що є суперпозицією прямих хвиль, які виникають від швидкісної дії різальних елементів на ґрунт під час одиночного сколу, відбитих від денної поверхні масиву ґрунту та неоднорідностей в ґрунті і переломлених хвиль, що формуються в зонах неоднорідностей ґрунту. Внаслідок такого напружено-деформованого стану в масиві накопичуються втомні деформації.

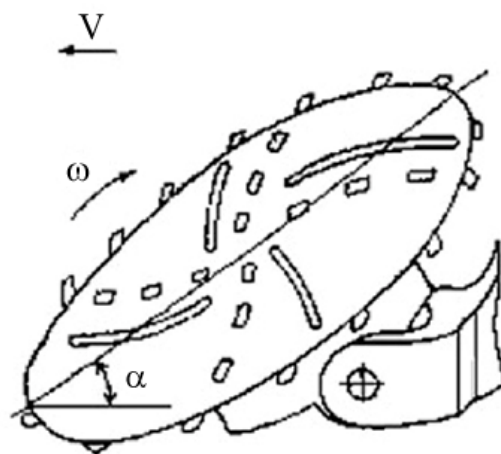


Рис. 1. Дисковий робочий орган ентропійного руйнування

Fig. 1. Disk working body entropic destruction

Робочий рух різальних і транспортувальних елементів складається з обертання робочого органа відносно своєї осі та поступального переміщення базової машини, внаслідок чого відбувається руйнування ґрунту різальними елементами. При цьому міцність ґрунту значно зменшується через накопичення в ньому втомних деформацій, що приводить до зниження енергоємності

різання. Додаткове зменшення енергоємності розробки ґрунту відбувається за рахунок того, що сила тяжіння сприяє відокремленню частинок ґрунту від масиву. Відокремлений від масиву ґрунт самовільно потрапляє на робочу частину диска і за рахунок його обертання транспортувальними елементами виноситься із забою. Для зміни ширини траншеї в робочому органі передбачена можливість повороту його в горизонтальній площині. На зменшення енергоємності розробки ґрунту впливає також відсутність призми волочіння перед робочим органом.

Можливість розробки ґрунту майже на повний діаметр робочого органа, відсутність ковшів, поєднання в одному органі функцій руйнування і транспортування (відсутність металників ґрунту), а також значне зменшення (в рази) енергоємності різання приводить до значного зменшення розмірів і маси робочого органа, що відповідає вимогам до механічних компонентів мехатронних систем.

В процесі руйнування різальні елементи піддаються зносу. При цьому виникає площадка зносу з від'ємним кутом до траєкторії різання, що збільшує енергоємність різання. У процесі зношування різальних елементів, наприклад наконечників, виділяються два періоди – припрацьовування і усталеного зношування [4]. Перший період характеризується інтенсивним зносом різальної кромки. У цей час на задній грані починається утворення площадки зносу, профіль передньої грані поблизу різальної кромки змінюється в бік збільшення кута між поверхнею передньої грані і віссю симетрії наконечника. За межами площадки зносу задня грань практично не зношується; знос передньої грані відбувається за всією її поверхнею, але його інтенсивність помітно зменшується в міру віддалення від різальної кромки. Знос передньої грані в плані в цей період зумовлюється незначним закругленням кутів. Укорочення наконечника починається після перетину його осі симетрії зі слідом площадки зносу у вертикальній площині (точка 1 на рис. 2). Період припрацьовування закінчується, коли в результаті спільного зносу наконечника з бо-

ку передньої і задньої граней різальна кромка загострюється. Після цього площадка зносу набуває постійний нахил до траєкторії різання, а обриси передньої грані в плані зберігаються приблизно подібними на наступних стадіях зносу.

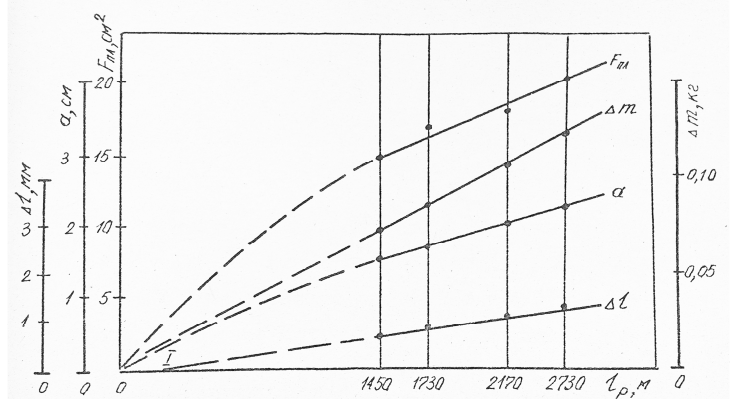


Рис. 2. Залежність укорочення, збільшення розмірів поверхонь зносу і зменшення маси моделей наконечників від шляху розпушення суглинки

Fig. 2. The dependence of shortening, increasing the size of surface wear and weight reduction models tips on the way loosening loam

При переході від першого до другого періоду зношування змінюється характер руйнування різальної кромки. У період несталого зношування різальна кромка руйнується шляхом абразивного впливу ґрунту, в другий період відбувається періодичне викришування загостреної кромки. Дослідами встановлено послідовність викришування. Спочатку відбувається вигин кромки в напрямку передньої грані різального елемента. Потім на деякій відстані від різальної кромки на поверхні площадки зносу розкриваються тріщини, подальша взаємодія площадки з ґрунтом призводить до відриву зігнутої частини.

Поверхня зламу становить з передньою гранню кут, приблизно рівний $\frac{\pi}{2}$. Внаслідок викришування різальна кромка притупляється. Подальший знос передньої і задньої граней призводить до загострення різальної кромки і весь цикл повторюється. За рахунок викришування різальної кромки абсолютні значення величини площадки зносу збільшуються з меншою інтенсивністю.

Орієнтація площадки зносу по відно-

шенню до траєкторії різання, що визначається кутом δ_1 , залежить від такого фактора, як наростоутворення на різальній кромці інструменту. Сутність наростоутворення полягає в тому, що на затупленому інструменті при різанні глинистих і піщаних ґрунтів утворюється стійкий наріст з ущільненого ґрунту. Наріст становить в подовжніх перерізах клиноподібне тіло з кутом при вершині, що дорівнює в середньому 60° ; верхня поверхня клина продовжує поверхню передньої грані. Наріст утворюється на затуплених ножах відразу ж після початку різання при будь-якій швидкості руху ножа і утримується на ньому протягом усього різі при незмінних умовах (постійній глибині і відсутності включень в ґрунті). Аналогічні результати отримані в дослідженнях, згідно з якими наріст на затупленні формувався на шляху різання 10 ... 12см і потім зберігав свою структуру на відстані 100м. Розміри наросту визначаються величиною кута внутрішнього тертя. Зокрема, для ґрунту з величиною кута внутрішнього тертя 12° (при куті різання 45°), кут при вершині наросту становив 78° .

На незношених моделях наконечників, що мали технологічне затуплення різальної кромки, також утворювався наріст, що підтверджувалося збереженням її забарвлення. Виходячи з вищесказаного, послідовність формування площадки зносу представляється наступною (рис. 3). При просуванні в ґрунті незношеного наконечника з технологічним радіусом заокруглення різальної кромки на ній утворюється ґрунтовий наріст з кутом при вершині α . Нижня поверхня наросту становить з траєкторією різання кут β , кут різання у наконечника δ .

При незмінних умовах різання і відсутності включень в ґрунті наріст, або принаймні його центральна частина, утримується на різальній кромці практично протягом усього різі. Тому різальна кромка на ділянці AC не контактує з ґрунтом і не зношується. Знос може відбуватися тільки на ділянці різальної кромки між точками C і D. Саме на цій ділянці і починається утворення площадки зносу. Кут її нахилу до траєкторії різання визначається співвідношенням:

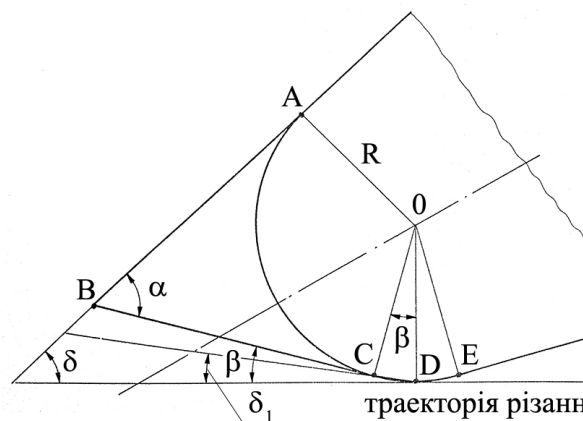


Рис. 3. Схема до визначення величини кута нахилу площадки зносу до траєкторії різання

Fig. 3. Diagram to determine the slope angle of the trajectory to wear platform cutting

$$\delta_1 = \frac{\beta}{2} = \frac{\alpha - \delta}{2}$$

За середніх значень кутів різання $\delta = 60^\circ \dots 30^\circ$ величина зносу має стабільну стаціонарну величину приблизно для всіх типів різальних елементів ґрунторуйнуючих машин. Експериментальні дані підтверджують наведені викладки. Так, кут нахилу площадки зносу для зубів одноківшевих екскаваторів дорівнює $7 \dots 10^\circ$, розкривних роторних екскаваторів – 8° . Досліди з визначення кута при струганні і фрезеруванні на стендах для буріння в польових умовах показали, що кут δ_1 лежить в межах від 3° до 13° . Спостереження за зносом наконечників різних конструкцій встановлена величина δ_1 , що дорівнює $13^\circ \dots 16^\circ$. Зношування моделей наконечників при куті різання 45° супроводжувалось утворенням площадки зносу з кутом нахилу $7^\circ \dots 8^\circ$.

Утворений кут нахилу площадки зносу до траєкторії різання є природним для даного ґрунту і умов роботи. За такого значення δ_1 тиск у всіх точках площадки зносу має однакову величину, що підтверджується рівномірним зносом площадки зносу. Аналогічні природні процеси зносу характерні і для інших типів різальних елементів ґрунторуйнуючих машин.

При синергетичному зв'язку між системами механічних компонентів складові

підсистеми мають властивість змінювати свою структуру (тобто самоорганізовуватися) в залежності від умов функціонування та від накопиченого досвіду. Самоорганізація може зв'язуватися з процесами тертя, через які відбувається знос контактуючих поверхонь. В цьому випадку мова йде про самоорганізацію геометричних форм [5].

Треба відзначити, що процес еволюції геометричних форм відбувається поблизу термодинамічної рівноваги. Таким чином в компонентах, де відбувається тертя, необхідно надавати поверхням тертя форм, що відповідають їх природному зносу. Цей принцип покладено в основу конструкції зуба землерийної машини [6].

Зуб 1 землерийної машини (рис. 4) складається з верхньої частини 2 з передньою гранню 3, хвостовика 4, встановленого в паз 5 зуба, нижньої частини 6 з задньою гранню 7 і хвостовиком 8, який встановлений в паз 9 зуба і головної робочої частини 10, яку виконано з набору об'ємних елементів, що становлять тіла зносу 11. Внутрішня поверхня першого тіла зносу є точною копією зовнішньої поверхні другого тіла зносу, а внутрішня поверхня другого тіла зносу є копією зовнішньої поверхні третього тіла зносу і т.д. Об'ємний елемент 11 (або тіло зносу) становить тіло, що розташовується між зовнішньою і внутрішньою поверхнями. Зовнішня поверхня конгруентна внутрішній, тобто об'ємні елементи (тіла зносу) є повторенням один одного і запаяні один в другий, складаючи головну робочу частину з кінцевиком 12, яка знаходиться між верхньою і нижньою частинами.

Кінцевик вставлений в карман 13 зуба і упирається в механізм подачі 14 головної робочої частини.

Таким чином, послідовно зношуючись, тіла зносу будуть замінювати один одного і протягом всього часу роботи різальна частина зуба буде мати оптимальну форму, яка і утворюється в реальних умовах процесу зносу.

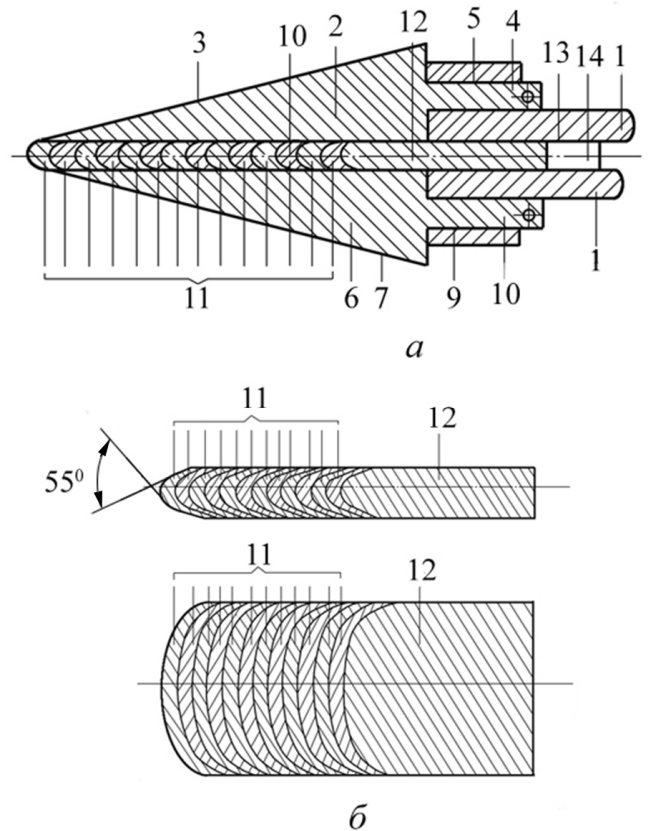


Рис. 4. Зуб землерийної машини (а) та головна частина зуба з кінцевиком (б)
Fig. 4. Tooth digging (a) and the main part of the tooth with trailer (б)

ВИСНОВКИ

Розроблені технічні рішення дозволяють скомпонувати механічний комплекс на основі ентропійного руйнування ґрунтів, самоорганізації і еволюції геометричних форм і мехатронного принципу, що повинно значно зменшити енергоємність розробки ґрунтів, покращити масові і об'ємні параметри машини та підвищити ефективність їх робочих процесів. Крім того, врахування природних зв'язків між елементами, які мають синергетичний характер в різних аспектах взаємодії між знаковими складовими мехатронного комплексу, що утворюють систему для розробки робочих середовищ, також дозволить значно знизити енергоємність руйнування ґрунтів.

ЛІТЕРАТУРА

REFERENCES

1. *Параметри* робочого процесу ґрунторуй- нуючих технічних систем з урахуванням розподілення потоків енергії / Фомін А.В., Костенюк О.О., Тетерятник О.А., Боковня Г.І. – Зб. "ГБДММ", вип.76. Респ. межвід. науково-технічн. Збірник. Київ, 2010.
2. *Синергетичний* характер взаємодії адаптаційних технічних систем з робочим середовищем / Фомін А.В., Костенюк О.О., Тетерятник О.А., Боковня Г.І. – Зб. "Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини", вип.82. Респ. межвід. науково-технічн. Збірник. Київ, 2013.
3. *Баладинский В.Л.*; Пелевин Л.Є; Фомин А.В.; Костенюк, О.О. Рабочий орган землеройной машины. Авторское свидетельство на изобретение. № 1362792, 30.12.1987, Бюл.№ 48.
4. *Фомин А.В.* Повышение эффективности гусеничных рыхлителей путем ограничения износа наконечников. Диссертация на соискание степени кандидата технических наук. Киев. 1986. 217с.
5. *Шульц В.В.* Форма естественного износа деталей машин и инструмента. Л.: «Машиностроение», 1990, 208с.
6. *Костенюк, О.О.*, Пелевин Л.Е., Власов В.В., Витрив В.В. Зуб землеройной машины. Авторское свидетельство на изобретение. № 1740575, 15.06.1992, Бюл.№ 22.
1. Parametry robocznego protsesu gruntu- ruynuyuchih tehnicnih system z urahuvanyam rozpodilennya potokiv energiyi [Options soil-destructive workflow of technical systems based distribution of energy flows] / *A.V. Fomin, O.O. Kostenyuk, O.A. Teteryatnik, G.I. Bokovnya* – Sb. GBDMM, № 76. Kyiv. 2010.
2. Synergetychniy harakter vzaemodiyi adaptatsiynyh system z robochim seredovyschem [Synergetic character of interaction of technical adaptation system of workspaces] / *A.V. Fomin, O.O. Kostenyuk, O.A. Teteryatnik, G.I. Bokovnya* – Sb. GBDMM, № 82. Kyiv. 2013.
3. *Baladinsky V.L., Pelevin L.E., Fomin A.V., Kostenyuk O.O.* Rabochiy organ zemleroynoy mashyny [The working body digger] / A.S. № 1362792, Bul. № 48, 30.12.1987.
4. *Fomin A.V.* Povyshenie effektivnosti gusenichnyh ryhliteley putem ogranicheniya iznosa nakonechnikov [Improving the efficiency of crawler rippers by limiting wear tips] / Kyiv, Dis. kand. tehn. nauk, 1986, 217.
5. *Shults V.V.* Forma estestvennogo iznosa detaley mashin i instrumenta [Form of natural wear of machine parts and tools]/ L.: «Mashinostroenie», 1990, 208.
6. *Kostenyuk O.O., Pelevin L.E., Vlasov V.V., Vitriv V.V.* Zub zemleroynoy mashyny [Tooth digger] / A.S. № 1740575, Bul. № 22, 15.06.1992.