УДК 514.18
П3.8

Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці / Таврійський державний агротехнологічний університет – Вип.4, т.54. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012.– 212 с.

Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ,
Протокол № 10 від 29 травня 2012 р.

У випуску наукових праць друкуються матеріали за результатами досліджень, проведених в 2012 р. та присвячених геометричному моделюванню кривих ліній та поверхонь, що відображають явища та процеси в виробництві та експериментальних дослідженнях. В окремих роботах розглядаються деякі аспекти теорії апроксимації та перетворень.

Дослідження фахівців Таврійського державного агротехнологічного університету проведені у відповідності з науково-технічною програмою «Геометричне моделювання явищ та процесів» (№ держреєстрації 0111U001949)

Випуск призначений для науковців, інженерів, аспірантів і студентів.

Адреса редакції: ТДАТУ
Просп. Б. Хмельницького 18,
м. Мелітополь, Запорізька обл.,
72312, Україна

ISSN 2078-0877

УДК 514.747+519.85

ТОЧКОВІ НЕЧІТКІ МНОЖИНИ ТА ЇХ ВІДОБРАЖЕННЯ

Баришевський С.О., к.ф.-м.н.
Мелітопольський державний педагогічний університет ім. Богдана Хмельницького
Тел. (0619)41-95-78

Анотація **– розглянуто застосування до аксіоматичної побудови нечітких точкових множин дійсних чисел і їх відображень нечіткої логіки і теорії нечітких множин.**

Ключові слова **– нечітка геометрія, нечітке співвідношення, нечітка функція, нечіткі бінарні операції, нечіткі морфізми.**

Постановка проблеми. Нечітка геометрія вивчає властивості нечітких фігур оточуючого нас простору. При цьому вивчаються ті властивості, які зберігаються при деяких нечітких перетвореннях простору – нечітких рухів, нечітких подібностей та інших. В нечіткій геометрії простір, за нашою думкою, може розглядатися як деяка точкова нечітка множина $\tilde{R}$, а нечіткі геометричні фігури – як нечіткі підмножини множини $\tilde{R}$. Вибір нечітких підмножин утворюється не випадково, а відтворює наше представлення про властивості оточуючого світу. Проблема полягає в тому, що в наш час не існує загальновизнаної геометрії нечітких множин, а також відсутня загальновизнана графічна й аналітична реалізація, що описує слабоформалізовані відношення об'єктів та адекватна чітким конструктивним побудовам і аналітичним виразам (нечітка геометрія).

Аналіз останніх досліджень. В роботі [1] розглядаються основи нечіткої дискретної математики з залученням апарату нечіткої логіки [2]. Особлива увага приділена розгляданню основних понять теорії нечітких множин, елементів нечіткої логіки, і на основі понять й нечітких висловлювань, нечітких логічних формул і нечітких предикатів розглядаються способи завдання і властивості нечітких множин. Розглядаються також нечіткі співвідношення і нечіткі відношення, взаємно-однозначним представленням яких є нечіткі орієнтовані графи різного виду. Слід зазначити, що матеріал, який викладений в роботі [1], досить суттєво відрізняється від існуючого в науковій літературі. В роботі [3] розглянуті нечіткі включення, нечітка рівність, нечітке відношення і його основні властивості в

УДК 515.2

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ ЧАСТКИ ҐРУНТУ ПІСЛЯ ЇЇ ВИЛЬОТУ З РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ЛОПАТКИ РОТОРНОГО ҐРУНТОМЕТАЛЬНИКА

Семків О.М., к.т.н.,
Попова А.М.
Національний університет цивільного захисту України (м. Харків)
Тел. 0956824604

Анотація **– базуючись на результатах роботи [1] досліджено траєкторії руху частки ґрунту після її розгону і вильоту з робочої поверхні лопатки роторного ґрунтометальника.**

Ключові слова **– роторний ґрунтометальник, лопатка метальника, траєкторія руху частки ґрунту.**

Постановка проблеми. В роботі [1] було складено та розв'язано диференціальне рівняння опису руху частки ґрунту по робочій поверхні лопатки роторного ґрунтометальника (для прикладу профіль лопатки обрати прямолінійним). В результаті дії відцентрової сили зазначені частки ґрунту продовжують свій рух у просторі. Тому актуальними будуть дослідження, спрямовані на збільшення продуктивності по здатності лопатки переміщати ґрунт метанням для протипожежної охорони лісів, коли використовується спосіб ізоляції поверхневих горючих матеріалів ґрунтом.

Аналіз останніх досліджень. Ґрунтометальники являють собою знаряддя з активними робочими органами, які розривають ґрунт і розкидають його у заданому напрямку [2]. Теоретичні основи розробки таких механізмів закладені в роботах В.М. Найдиша, Н.Е. Нагорного та А.І. Караєва [3, 4]. У дисертації А.І. Караєва [5] запропоновано конструкцію роторно-лопаткової машини.

В основу модернізації ґрунтометальника Караєва доцільно покласти результати роботи [1], де складено та розв'язано диференціальне рівняння опису руху частки ґрунту по робочій поверхні лопатки. Тому необхідно провести низку чисельних експериментів, які б базувалися на розв'язках зазначеного рівняння. До головних при цьому слід віднести дослідження руху частки ґрунту в повітрі. Адже саме ця фаза досліджень сприятиме максимальній ефективності переміщенню ґрунту за допомогою метання.

Формування цілей статті. Базуючись на результатах роботи [1] дослідити траєкторії руху частки ґрунту після її розгону і вильоту з робочої поверхні лопатки роторного ґрунтометальника.

Основна частина. Дослідимо руху часток ґрунту в повітрі після зісковзування її з лопатки (рис. 1). Вважатимемо, що використання однакових позначень [1] рухомої і нерухомої систем координат не веде до двозначності. Частку ґрунту розглянемо як матеріальну точку, що рухається у вертикальній площині Oxy під дією сили ваги $m\mathbf{g}$ й сили опору повітря

$$\mathrm{R} = -\beta m g \mathbf{v},$$

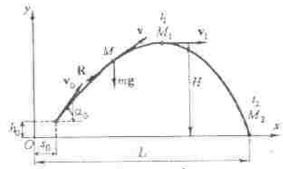

Рис. 1. Траєкторія руху частки ґрунту.

де β – коефіцієнт, що залежить від ряду факторів; найбільш істотні – форма частки, стану її поверхні.

Таким чином, сила опору спрямована проти швидкості й пропорційна їй. Проекції сили на координатні осі:

$$R_x = -\beta m g \dot{x}; \qquad R_y = -\beta m g \dot{y}. \tag{1}$$

Диференціальні рівняння руху точки M в проекціях на осі x й y мають вигляд:

$$\left.\begin{aligned} m\ddot{x} &= -\beta m g \dot{x}; \\ m\ddot{y} &= -mg - \beta m g \dot{y}, \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

або

$$\left.\begin{aligned} \frac{d\dot{x}}{dt} &= -\beta g \dot{x}; \\ \frac{d\dot{y}}{dt} &= -g(1 + \beta \dot{y}). \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

Розділяючи змінні, одержимо

$$\left.\begin{aligned} \frac{d\dot{x}}{\dot{x}} &= -\beta g dt; \\ \frac{d\dot{y}}{(1 + \beta \dot{y})} &= -g dt. \end{aligned}\right\} \tag{4}$$

Інтегруючи рівняння (54), знайдемо загальний розв'язок у вигляді

$$\left.\begin{aligned} &\ln\dot{x} = -\beta g t + C_1; \\ &\frac{1}{\beta}\ln(1+\beta\dot{y}) = -gt + C_2. \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

Тут знаки модулів у логарифмах опущені: $\dot{x} > 0$ – слідує з фізичних міркувань; $1+\beta\dot{y} > 0$ – внаслідок малості коефіцієнта β.

Постійні інтегрування C_1 й C_2 визначаються за заданими початковими умовами: при $t = 0$ $\dot{x} = \dot{x}_0 = v_0\cos\alpha_0$, $\dot{y} = \dot{y}_0 = v_0\sin\alpha_0$.

Вони мають такі значення

$$\left.\begin{aligned} &C_1 = \ln\dot{x}_0 = \ln v_0\cos\alpha_0; \\ &C_2 = \frac{1}{\beta}\ln(1+\beta\dot{y}_0) = \frac{1}{\beta}\ln(1+\beta v_0\sin\alpha_0). \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

Після підстановки (6) у загальний розв'язок рівнянь (5), одержимо

$$\left.\begin{aligned} &\ln\dot{x} = -\beta g t + \ln(v_0\cos\alpha_0); \\ &\frac{1}{\beta}\ln(1+\beta\dot{y}) = -gt + \frac{1}{\beta}\ln(1+\beta v_0\sin\alpha_0). \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

Із цих виразів слідує, що

$$\left.\begin{aligned} &\ln\left(\frac{\dot{x}}{v_0\cos\alpha_0}\right) = -\beta g t; \\ &\frac{1}{\beta}\ln\left(\frac{1+\beta\dot{y}}{1+\beta v_0\sin\alpha_0}\right) = -\beta g t \end{aligned}\right\}$$

і, отже,

$$\left.\begin{aligned} &\dot{x} = v_0\cos\alpha_0 e^{-\beta g t}; \\ &\dot{y} = \left(\frac{1}{\beta} + v_0\sin\alpha_0\right)e^{-\beta g t} - \frac{1}{\beta}. \end{aligned}\right\} \quad (8)$$

Рівняння (8) представимо у вигляді

$$\left.\begin{aligned} &\frac{dx}{dt} = v_0\cos\alpha_0 e^{-\beta g t}; \\ &\frac{dy}{dt} = \left(\frac{1}{\beta} + v_0\sin\alpha_0\right)e^{-\beta g t} - \frac{1}{\beta}. \end{aligned}\right\} \quad (9)$$

Розділяючи змінні й інтегруючи кожне з рівнянь системи, одержимо

$$\left.\begin{aligned} &dx = v_0\cos\alpha_0 e^{-\beta g t}dt; \\ &dy = \frac{1+\beta v_0\sin\alpha_0}{\beta}e^{-\beta g t}dt - \frac{1}{\beta}dt; \end{aligned}\right\}$$

$$\left.\begin{aligned} &x = -\frac{v_0\cos\alpha_0}{\beta g}e^{-\beta g t} + C_3; \\ &y = -\frac{1}{\beta g}\left(\frac{1+\beta v_0\sin\alpha_0}{\beta}\right)e^{-\beta g t} - \frac{1}{\beta}t + C_4. \end{aligned}\right\} \quad (10)$$

Постійні інтегрування C_3 й C_4 визначаються за заданими початковими умовами (див. рис. 3 з роботи [1]): при $t = 0$ $x = x_0 = s_0$, $\dot{y} = \dot{y}_0 = h_0$ (при їхньому записі враховано, що висота прошарку ґрунту, який знімається, істотно менше висоти підйому й дальності польоту частки ґрунту).

Постійні інтегрування мають такі значення

$$\left.\begin{aligned} &C_3 = s_0 + \frac{v_0\cos\alpha_0}{\beta g}; \\ &C_4 = h_0 + \frac{1+\beta v_0\sin\alpha_0}{\beta^2 g}. \end{aligned}\right\} \quad (11)$$

Підставляючи значення C_3 й C_4 у загальний розв'язок рівнянь (10), знайдемо рівняння руху частки ґрунту M

$$\left.\begin{aligned} &x = s_0 + \frac{v_0\cos\alpha_0}{\beta g}\left(1 - e^{-\beta g t}\right); \\ &y = h_0 + \frac{1+\beta v_0\sin\alpha_0}{\beta^2 g}\left(1 - e^{-\beta g t}\right) - \frac{t}{\beta}. \end{aligned}\right\} \quad (12)$$

Найбільша висота підйому частки при заданій початковій швидкості v_0 й куті α_0 визначається з умови, що в найвищому її положенні в момент часу t_1 проекція вектора швидкості на вертикальну вісь дорівнює нулю (див. рис. 1):

$$\dot{y}(t_1)=\left(\frac{1}{\beta}+v_0\sin\alpha_0\right)e^{-\beta g t_1}-\frac{1}{\beta}=0, \tag{13}$$

звідки

$$t_1=\frac{1}{\beta g}\ln(1+\beta v_0\sin\alpha_0)=0. \tag{14}$$

Підставляючи знайдене значення t_1 у вирази (12), знайдемо координати точки в її найвищому положенні

$$\left.\begin{aligned} x(t_1)&=s_0+\frac{v_0^2\sin 2\alpha_0}{2g(1+\beta v_0\sin\alpha_0)};\\ H=y(t_1)&=h_0+\frac{v_0\sin\alpha_0}{\beta g}-\frac{1}{\beta^2 g}\ln(1+\beta v_0\sin\alpha_0). \end{aligned}\right\}$$

Рівняння руху (12) можна трактувати і як рівняння траєкторії в параметричній формі. Для запису рівняння траєкторії в координатній формі з них варто виключити час. Маємо з першого рівняння (12)

$$t=-\frac{1}{\beta g}\ln\left[1-\frac{\beta g(x-s_0)}{v_0\cos\alpha_0}\right].$$

Підставляючи цей вираз в друге рівняння, одержимо

$$y=h_0+\frac{1+\beta v_0\sin\alpha_0}{\beta v_0\cos\alpha_0}(x-s_0)+\frac{1}{\beta^2 g}\ln\left(1-\frac{\beta g(x-s_0)}{v_0\cos\alpha_0}\right).$$

Для визначення дальності польоту частки ґрунту L необхідно знайти час польоту частки t_2 з умови $y(t_2)=0$, а потім обчислити значення $L=x(t_2)$. Із другого рівняння (12) маємо

$$\frac{1+\beta v_0\sin\alpha_0}{\beta^2 g}\left(1-e^{-\beta g t_2}\right)-\frac{t_2}{\beta}+h_0=0. \tag{15}$$

Чисельний розв'язок рівняння (15) не представляє труднощів. При використанні математичного пакета MathCAD для цих цілей зручно застосувати убудовану функцію **root(f(x),x)**.

У такий спосіб одержимо дальність польоту частки ґрунту

$$L=x(t_2)=s_0+\frac{v_0\cos\alpha_0}{\beta g}\left(1-e^{-\beta g t_2}\right). \tag{16}$$

Розроблена математична модель руху часток ґрунту в повітрі використовувалася для дослідження впливу її основних параметрів на параметри руху часток, від чого, в остаточному підсумку, залежить ефективність застосування ґрунтометального механізму в цілому.

Траєкторії часток ґрунту, представлені на рис. 2, ілюструють, як залежить дальність польоту частки від кута кидання (вильоту). З технологічної точки зору рис. 2 цікавий тим, що наведені графіки вказують на можливість використання настильних і навісних траєкторій для формування більш густих смуг ґрунту, що викидається у вогнище пожежі.

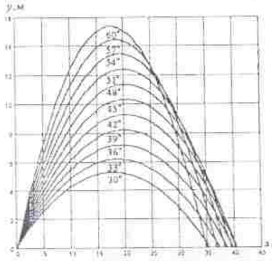

Рис. 2. Траєкторії руху частки ґрунту в залежності від α_0 ($\beta=0{,}001\frac{\text{с}}{\text{м}}$; $v_0=20\frac{\text{м}}{\text{с}}$).

Траєкторії, показані на рис. 3, 4, дозволяють зробити важливий висновок, що коефіцієнт опору повітря руху часток β (залежить від форми, стану поверхні частки й т. інші.) відносно слабко впливає на дальність викидання часток і щільність їхнього розташування. Його коректний вибір представляє непросте завдання. На рис. 4 представлений, зокрема, випадок, коли максимальне значення β у двадцять п'ять разів перевершує мінімальне.

Графік на рис. 5 показує, як міняється залежно від β кут викидання, що забезпечує максимальну дальність частки ґрунту. Цей кут зменшується, однак при збільшенні опору в сто разів він зменшився приблизно на 50%.

На рис. 6 зіставляються дві криві; перша - відповідає максимальній дальності викидання, і друга - крива дальності, отримана при куті кидання $\alpha_0=45^\circ$. Між ними є незначна розбіжність тільки при дуже великих значеннях β.

Таким чином, при врахуванні опору повітря дальність, яка є близькою до максимальної, може бути досягнута при куті кидання близькому до 45°. Цим на графо - аналітичному рівні доведено відомий ще зі шкільної фізики результат.

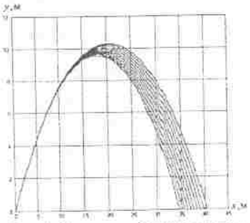

Рис. 3. Траєкторії руху частки грунту в залежності від β ($\beta_{min}=0{,}001\frac{c}{м}$; $\beta_{max}=0{,}01\frac{c}{м}$, $\Delta\beta=0{,}001\frac{c}{м}$; $v_0=20\frac{м}{c}$; $\alpha_0=45^\circ$).

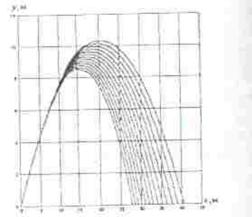

Рис. 4. Траєкторії руху частки грунту в залежності від β ($\beta_{min}=0{,}001\frac{c}{м}$; $\beta_{max}=0{,}025\frac{c}{м}$, $\Delta\beta=0{,}002\frac{c}{м}$; $v_0=20\frac{м}{c}$; $\alpha_0=45^\circ$).

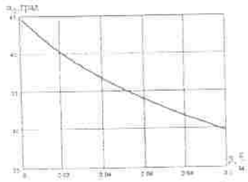

Рис. 5. Кути вильоту, які забезпечують максимальну дальність викидання частки грунту, в залежності від β ($v_0=20\frac{м}{c}$).

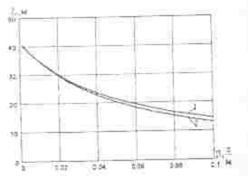

Рис. 6. Дальність викидання частки грунту в залежності від β ($v_0=20\frac{м}{c}$): 1 – максимальна дальність; 2 – дальність при $\alpha_0=45^\circ$.

Графіки на рис. 7,8 показують вплив початкової швидкості кидання на дальність (траєкторію) при коефіцієнтах опору повітря, що істотно відрізняються (у двадцять п'ять разів). Дальність зменшилася при цьому приблизно на 42%.

На рис. 9 - 10 наведено приклади поверхонь, що представляють залежність дальності польоту частки від двох параметрів: кута викидання й коефіцієнта опору повітря при зміні швидкості кидання від $v_0=10$м/с до $v_0=30$м/с із кроком 5м/с.

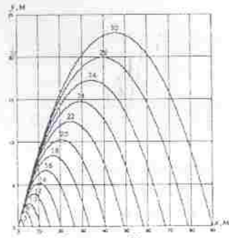

Рис. 7. Траєкторії руху часток грунту в залежності від v_0 ($\beta=0{,}001\frac{c}{м}$; $\alpha_0=45^\circ$).

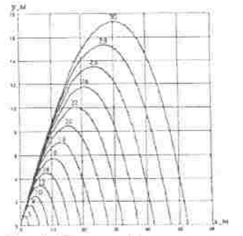

Рис. 8. Траєкторії руху часток грунту в залежності від v_0 ($\beta=0{,}025\frac{c}{м}$; $\alpha_0=45^\circ$).

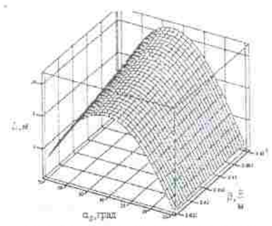

Рис. 9. Дальність руху часток грунту в залежності від α_0 і β ($v_0=10\frac{м}{c}$).

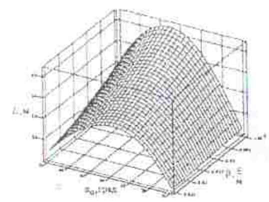

Рис. 10. Дальність руху часток грунту в залежності від α_0 і β ($v_0=25\frac{м}{c}$).

Висновки. Складено диференціальне рівняння руху частки грунту в повітрі за умови врахування його опору, а також з урахуванням координат її сходу з лопатки, абсолютної швидкості й кута сходу. Запропоновано математичну модель для дослідження параметрів сходу фрагментів грунту з лопатки. Досліджено вплив параметрів сходу часток грунту з лопатки й коефіцієнта опору повітря на траєкторії часток. Установлено, що зміна коефіцієнта опору повітря в широких межах (найбільш складний параметр для вибору) відносно слабко впливає на дальність метання й ширину смуги розподілу ґрунту. Показано, що теоретично можливо вибрати такі параметри ґрунтометальника, які дозволять реалізувати настильні й навісні траєкторії при формуванні "щільної" смуги ґрунту.

Література

1. *Попова А.М.* Дослідження руху частки грунту в роторно-лопатковому метальнику / *А.М.Попова* // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – Вип. 4. –Т.52. – С.167-175.
2. *Чукичев А.Н.* Технологические и теоретические основы фрезерно-метательных машин для тушения лесных пожаров грунтом [Текст] : А.Н.Чукичев: диссертация в виде науч. докл. на соискание ученой степени д-ра техн. наук: 05.21.01 / *А. Н. Чукичев.* - СПб: С.-Петерб. НИИ лесн. хоз-ва., 1995. - 40 с.
3. Обоснование параметров и разработка машины для насыпки противо-эрозионных валов на склонах / *В.М. Найдыш, Е.Н. Нагорный, Н.С. Левчук, А.И. Караев* // Механизация и электрификация сельхоз производства. - 1989. - N 4, С. 7 - 12.
4. Геометрическое моделирование поверхностей рабочих органов плуга-метателя / *В.М. Найдыш, Е.Н. Нагорный, А.И. Караев* // Тезисы докладов Всесоюзной н/т конференции по современным проблемам земледельческой механики. – Мелитополь: МИМСХ, 1989. - С. 50-51.
5. *Караев А.И.* Обоснование параметров машины для насыпки противоэрозийных валов-террас на склонах. Автореф. дис. …канд. техн.. наук. / *А.И. Караев.* - Мелитополь: МИМСХ, 1993. – 20 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ ГРУНТА ПОСЛЕ ЕЕ ВЫЛЕТА ИЗ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛОПАТКИ РОТОРНОГО ГРУНТОМЕТАТЕЛЯ

О.М. Семкив, А.Н.Попова

Аннотация – базируясь на результатах работы [1] исследованы траектории движения частицы грунта после разгона и вылета из рабочей поверхности лопатки грунтометателя.

RESEARCH OF TRAJECTORY OF MOTION OF PARTICLE OF SOIL AFTER HER FLIGHT FROM WORKING SURFACE OF SHOULDER-BLADE ROTOR THROWER OF SOIL

O. Semkiv, A. Popova

Summary

Being based on job performances [1] the trajectories of motion of particle of soil are investigational after her acceleration and flight from the working surface of shoulder-blade of rotor thrower of soil.

УДК 515.2

ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ЧАСТКИ ҐРУНТУ ПО ЛОПАТЦІ: РЕЗУЛЬТАТИ КОМП'ЮТЕРНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Попова А.М.,
Національний університет цивільного захисту України (м. Харків)
Тел. 0956824604
Шатохін В.М., д.т.н.
Харківський національний університет будівництва та архітектури
Тел. 0994618967

Анотація **– наведено результати чисельних експериментів з комп'ютерного моделювання руху частки ґрунту по робочій поверхні лопатки роторного ґрунтометальника, що є продовженням досліджень роботи [1].**

Ключові слова **– роторний ґрунтометальник, лопатка метальника, траєкторія руху частки ґрунту.**

Постановка проблеми. В роботі [1] було складено та розв'язано диференціальне рівняння опису руху частки ґрунту по робочій поверхні лопатки роторного ґрунтометальника (для прикладу профіль лопатки обрати прямолінійним). Ці результати спрямовані на збільшення продуктивності по здатності лопатки переміщати ґрунт для протипожежної охорони лісів, коли використовується спосіб ізоляції поверхневих горючих матеріалів ґрунтом. Тому актуальними будуть дослідження, спрямовані на розвиток технології пожежогасіння з використанням ґрунтометальних машин.

Аналіз останніх досліджень. Ґрунтометальники являють собою знаряддя з активними робочими органами, які розривають ґрунт і розкидають його у заданому напрямку [2]. Теоретичні основи розробки таких механізмів закладені в роботах В.М. Найдиша, Н.Е. Нагорного та А.І. Караєва [3, 4]. У дисертації А.І. Караєва [5] запропоновано конструкцію роторно-лопаткової машини. В основу модернізації ґрунтометальника Караєва доцільно покласти результати роботи [1], де складено та розв'язано диференціальне рівняння опису руху частки ґрунту по робочій поверхні лопатки. Але для цього необхідно провести низку чисельних експериментів з моделювання руху частки ґрунту по робочій поверхні лопатки, які б базувалися на розв'язках диференціального рівняння, одержаного в роботі [1].