

17. Науменко М.А. Влияние геометрического фактора на конструкционные свойства при сжатии полимерных композиционных материалов // М.А. Науменко, П.И. Баштаник, М.В. Бурмистр, В.Г. Макарова / Вопросы химии и химической технологии. - 2011, №1. – С. 66-70.
18. Литвинский Г.Г. Аналитическая теория прочности горных пород и массивов: Монография / Г.Г. Литвинский // ДонГТУ. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – С. 207.

Evgeniy Serbiy

State scientific organization “Leonid Pogorilyy Ukrainian Scientific Research Institute of Forecasting and Testing of Machinery and Technologies for Agricultural Production” (L. Pogorilyy UkrNDIPVT), Doslidnitske, Kyiv region.

Strength properties of components for seeds pelleting

The expediency and the experimental research methodology for strength properties determination of components for seeds pelleting, the dependences of the Young modulus and the maximum relative deformation of samples from a mixture of bentonite and humate on its composition and absolute humidity, checked their adequacy are informed in the article. It is established that pelleted seeds rationally be made from several layers: the outer, it is advisable to form out of 100% bentonite, because it has the maximum strength of $6.0 \cdot 10^8$... of $6.5 \cdot 10^8$ Pa at a moisture content close to your natural and significantly reduces the strength of $2.5 \cdot 10^8$... of $3.0 \cdot 10^8$ Pa at the increase of soil moisture.

The dependences of the elastic modulus and the maximum relative elastic deformation of the mixture of bentonite and humate from humidity and quantitative composition is useful for discrete dynamic modeling pelleted seed.

strength, bentonite, humate, absolute humidity, relative deformation, elastic modulus

Одержано 27.10.14

УДК 631.362.3

С.П. Степаненко, канд. техн. наук, ст.наук.спів., В.О. Швидя, канд. техн. наук

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

Теоретичні дослідження динаміки переміщення зерна по поверхні вертикального циліндричного решета з рифами

В статті на основі рівнянь динаміки складено і розв'язано диференційні рівняння руху зерна по поверхні вертикального циліндричного решета з рифами.

риф, вертикальне циліндричне решето, зернівка, сила інерції, диференціальне рівняння, динаміка, переміщення

С.П. Степаненко, канд. техн. наук, ст.научн.сотр., В.О. Швидя, канд. техн. наук

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

Теоретические исследования динамики перемещения зерна по поверхности вертикального цилиндрического решета з рифами

В статье на основе уравнений динамики составлено и решено дифференциальные уравнение движения зерна по поверхности вертикального цилиндрического решета з рифами.

риф, вертикальное цилиндрическое решето, зерновка, сила инерции, динамика, перемещение

Проблема. Серед сепараторів з решітним принципом розділення, машини з вертикальними циліндричними решетами типу БЦСМ характеризуються інтенсивною дією силових полів, що створюються шляхом обертowego і вібраційного руху решета. При цьому досягаються високі показники продуктивності при незначних габаритних розмірах.

Серед недоліків сепараторів типу БЦСМ слід віднести невисоку технологічну ефективність і довговічність. Для усунення вказаних недоліків авторами у роботі [1] було запропоновано застосовувати на вертикальному циліндричному решеті неперфоровані гофровані ділянки (риффи). Теоретичні роботи по обґрунтуванню оптимальних параметрів рифів вертикального циліндричного решета відсутні, що робить дані дослідження актуальними.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Теоретичні дослідження вібраційного руху зернових матеріалів розглянуто у роботах Блехмана І.І., Заїки П.М., Гортинського В.В., Василенка П.М. [2-4, 6, 7]. Рух зернівки по поверхні ступінчато-конічного решета при вертикальних коливаннях розглянуто в роботах Гончарова Є.С. і Мalyuti С.І. [5,8]. Проте, теоретичних робіт про рух зернівки по вертикальному циліндричному решету з інтенсифікаторами (рифами) на його поверхні недостатньо.

Мета дослідження. Розроблення математичної моделі переміщення зерна по поверхні вертикального циліндричного решета при наявності гармонічних коливань та рифів на його поверхні.

Результати досліджень. Розглянемо рух зерна у встановленому русі по поверхні вертикального циліндричного решета з рифами. Будемо вважати, що зернова суміш однорідна і зернівки у зерновій суміші слабо взаємодіють між собою. Тоді зернову суміш можна замінити матеріальною точкою — зернівкою з масою m , що рухається по поверхні решета.

Для пошуку рівняння динаміки руху зернівки по поверхні вертикального циліндричного решета з рифами розглянемо систему сил, що діють на зернівку (рис. 1).

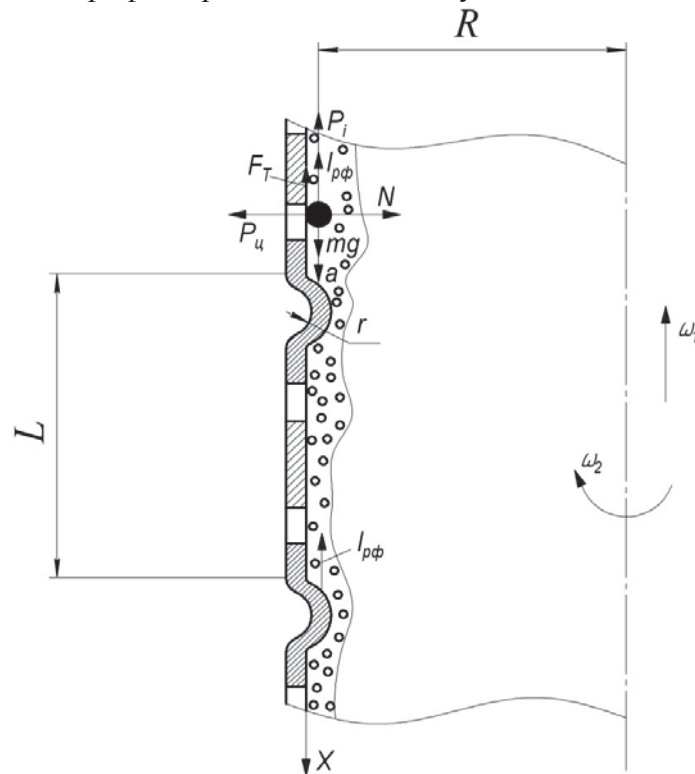


Рисунок 1 – Система сил, що діє на зернівку при встановленому русі на поверхні вертикального циліндричного решета з рифами

Нехай зернівка рухається без заклинювання по поверхні вертикального циліндричного решета радіусом R з рифами, що представляють напівсферу радіуса r . При цьому відстань між рифами складає L . Решето здійснює обертання навколо вертикальної осі з кутовою швидкістю ω_2 і одночасно коливальний рух за гармонічним законом вздовж вертикалі з кутовою швидкістю ω_1 .

Враховуючи, з технологічних міркувань, порівняно малий радіус рифів (не більше 30 мм) для спрощення моделювання переміщення зерна замінимо взаємодію зернівки з поверхнею рифа решета еквівалентною силою реакції, яка залежить від радіусу рифа r .

Зернівка рухається на ділянці поверхні вертикального циліндричного решета з рифами вгору і вниз відповідно до вертикальних коливань решета. Направимо координатну вісь X вздовж твірної решета вертикально вниз. Переміщення зернівки будемо розглядати відносно вісі X , яка також здійснює разом з зернівкою одночасний обертальний і коливальний рух.

На зернівку діють наступні сили: $P_{Ц}$ – сила інерції від дії обертального руху решета; P_i – сила інерції від дії вертикального коливального руху решета; F_T – сила тертя зернівки об поверхню решета; N – сила реакції поверхні решета; $I_{P\phi}$ – еквівалентна сила реакції поверхні рифа вертикального циліндричного решета; mg – сила тяжіння. Впливом коріолісової сили інерції та сили опору повітряного середовища нехтуємо, оскільки їх сумарна дія складає не більше 0,02%. Тоді рівняння руху зернівки по поверхні вертикального циліндричного решета з рифами приймає вигляд:

$$m\vec{a} = \vec{P}_{Ц} + \vec{P}_i + \vec{N} + \vec{F}_T + \vec{I}_{P\phi} + \vec{mg}, \quad (1)$$

де a – прискорення зернівки вздовж поверхні вертикального циліндричного решета з рифами.

Чисельне значення сили інерції від дії вертикального коливального руху решета дорівнює:

$$P_i = m \cdot \omega_1^2 \cdot A \cdot \cos \omega_1 t, \quad (2)$$

де A – амплітуда вертикальних коливань решета, м.

Чисельне значення сили інерції від дії обертального руху решета дорівнює:

$$P_{Ц} = m \cdot \omega_2^2 \cdot R. \quad (3)$$

Сила тертя зернівки об поверхню вертикального циліндричного решета з рифами:

$$F_T = \mu \cdot N, \quad (4)$$

де μ – коефіцієнт тертя кочення зернівки об поверхню решета.

Як видно з рис.1 значення сили реакції поверхні решета чисельно дорівнює силі інерції від дії обертального руху $P_{Ц}$.

При своєму русі по поверхні вертикального циліндричного решета зернівка рухається вздовж вісі X , періодично стикаючись з рифами. Частота зіткнень зернівки з рифами ω залежить від швидкості руху v та відстані між рифами L . Внаслідок чого частоту зіткнень зернівки з рифами ω можна розрахувати за формулою:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot v}{L}. \quad (5)$$

Еквівалентна сила реакції поверхні рифа $I_{P\Phi}$ у проекції на вісь X приймає максимальне значення у точці з'єднання рифа з вертикальною циліндричною поверхнею решета і дорівнює нулю у точці відриву зернівки від поверхні рифа. Згідно рис. 1 максимальне значення еквівалентної сили реакції поверхні рифа $I_{P\Phi}$ дорівнює векторній сумі сил інерції вертикального коливального руху решета P_i та сили тяжіння mg . Проектуючи сили mg , P_i на вісь X та підставляючи їх значення і значення частоти зіткнень ω з врахуванням періодичності дії, отримуємо вираз для розрахунку чисельного значення еквівалентної сили реакції поверхні рифа $I_{P\Phi}$:

$$I_{P\Phi} = m \cdot (g - \omega_1^2 \cdot A \cdot \cos \omega_1 t) \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot v}{L} \cdot t_{P\Phi}\right), \quad (6)$$

де $t_{P\Phi}$ - час руху зернівки по поверхні рифа, с;

t - час руху зернівки, с.

Для пошуку значення часу руху $t_{P\Phi}$ розглянемо рух зернівки по поверхні рифу (рис. 2).

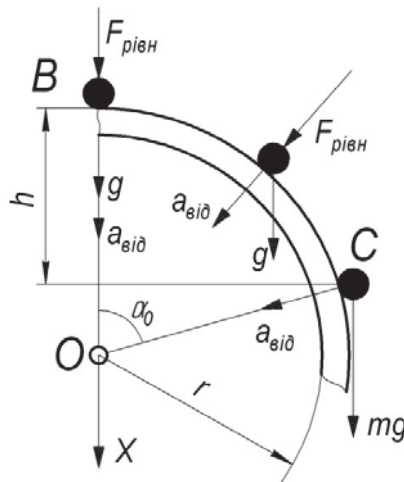


Рисунок 2 – Система сил, що діє на зернівку при русі по поверхні рифа вертикального циліндричного решета.

Рух зернівки відбувається під дією рівнодіючої сили $F_{рiвн}$, яка представляє собою векторну суму сил $P_{Ц}$, P_i , F_T , N та сили тяжіння mg з точки В до точки С. У точці С відбувається відрив зернівки від сферичної поверхні рифу і рівнодіюча сила $F_{рiвн}$ дорівнює нулю. Рівняння руху в момент відриву зернівки від поверхні рифу можна записати у вигляді:

$$\vec{m}a_{вiд} = \vec{m}g, \quad (7)$$

де $a_{вiд}$ — доцентрове прискорення руху зернівки по поверхні рифу.

Проектуючи вектори доцентрового прискорення $a_{вiд}$ та сили тяжіння mg на напрям радіуса точки С та поділивши рівняння на m , дістанемо:

$$a_{вiд} = g \cdot \cos \alpha_0, \quad (8)$$

де α_0 — кут відриву, град.

Отже, вплив на доцентрове прискорення $a_{вiд}$ рівнодіючої сили $F_{рiвн}$ незначний, порівняно з силою тяжіння mg , будемо вважати, що при русі зернівки від точки В до точки С діє лише прискорення вільного падіння g , а доцентрове прискорення $a_{вiд}$ стало і дорівнює значенню, яке розраховується за формулою (8). З урахуванням вказаних припущень швидкість сходу v_{cx} у точці С пов'язана з висотою h (рис. 2) і розраховується за формулою:

$$v_{cx} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot g \cdot r \cdot (1 - \cos \alpha_0)}. \quad (9)$$

Виразивши доцентрове прискорення $a_{\text{вiд}}$ через швидкість сходу $v_{\text{сх}}$ та підставивши значення швидкості сходу $v_{\text{сх}}$ у вираз (8) після алгебраїчних перетворень отримаємо значення $\cos\alpha_0$, яке дорівнює $2/3$. З іншого боку, доцентрове прискорення $a_{\text{вiд}}$ можна виразити через час, необхідний для проходження кута α_0 дуги BC (рис. 2):

$$a_{\text{вiд}} = r \cdot \frac{\arccos \frac{2}{3}}{t_{\text{PФ}}^2}. \quad (10)$$

Підставивши значення $a_{\text{вiд}}$ в залежність (8) та $\cos\alpha_0$ у залежність (10) знаходимо час руху зернівки по поверхні рифа:

$$t_{\text{PФ}} = \arccos \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot r}{2 \cdot g}}. \quad (11)$$

Тоді значення еквівалентної сили реакції поверхні рифа $I_{\text{PФ}}$:

$$I_{\text{PФ}} = m \cdot (g - \omega_1^2 \cdot A \cdot \cos \omega_1 t) \cdot \sin \left[\frac{2 \cdot \pi \cdot v}{L} \cdot \arccos \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot r}{2 \cdot g}} \right]. \quad (12)$$

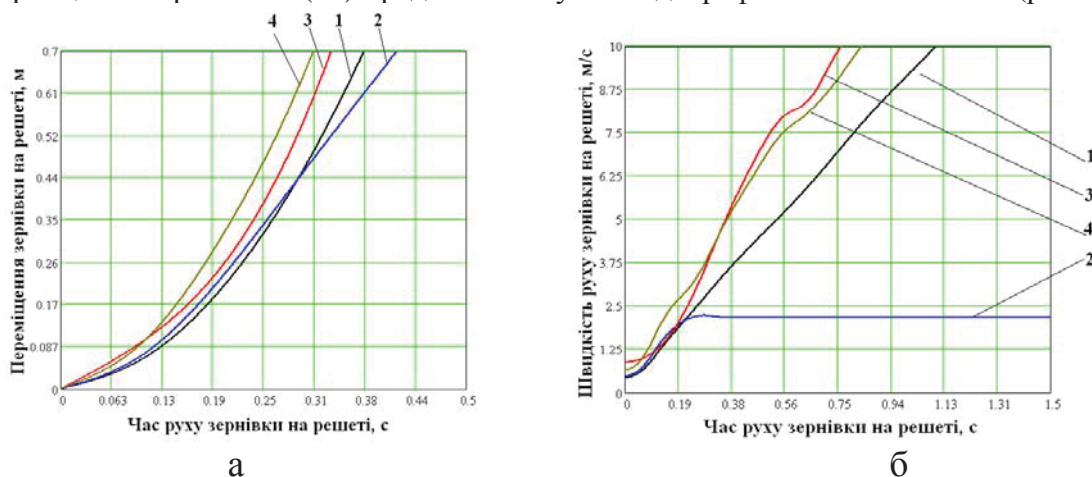
Спроекувавши прискорення $0a$ руху зернівки та сили $P_{\text{Ц}}$, P_i , F_T , N , $I_{\text{PФ}}$, mg на вісь X та підставивши їх значення у рівняння (1), попередньо розділивши всі члени рівняння на m та після алгебраїчних перетворень отримаємо диференціальне рівняння руху зернівки по поверхні вертикального циліндричного решета з рифами другого порядку:

$$\frac{dx^2}{dt^2} + (g - \omega_1^2 \cdot A \cdot \cos \omega_1 t) \cdot \sin \left[\frac{2 \cdot \pi}{L} \cdot \arccos \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot r}{2 \cdot g}} \cdot \frac{dx}{dt} \right] - \omega_1^2 \cdot A \cdot \cos \omega_1 t = -\mu \cdot \omega_2^2 \cdot R \cdot \omega_1^2. \quad (13)$$

Диференціальне рівняння (13) являється рівнянням спеціального вигляду, розв'язок якого не виражається в елементарних функціях. Між тим, чисельні методи інтегрування дозволяють вирішувати дані типи рівнянь. Скористаємось чисельним методом Рунге-Кутта, що реалізовано функцією *Odesolve* пакету програм *MathCad 13*.

Інтегрування було виконано при наступних початкових умовах: $x(0) = 0$; $v(0) = 0,2$ м/с та числових значеннях режимних коефіцієнтів диференційного рівняння (13), що відповідають режимам технологічного процесу сепарації зерна пшениці серійно випускаемого сепаратора типу БЦСМ. При цьому вважалось, що в момент часу $t = 0$ вертикальний коливальний рух решета направлений протилежно напрямку вісі X .

При режимних коефіцієнтах ($A = 0,005$ м; $\omega_1 = 12,58$ рад/с; $\omega_2 = 2,1$ рад/с; $R = 0,5$ м; $\mu = 0,37$; $L = 0,03$ м) та різних значеннях радіусу рифа r розв'язок диференційного рівняння (13) представлено у вигляді графічних залежностей (рис. 3).



1 – без рифів; 2 – $r=5$ мм; 3 – $r=10$ мм; 4 – $r=15$ мм

Рисунок 3 – Графічні залежності переміщення (а) та швидкості (б) руху зернівки по поверхні вертикального циліндричного решета від часу при різних значеннях радіусу рифа

Отримані графічні залежності показують, що час руху по решету збільшується в порівнянні з поверхнею без рифів ($r=0$) при радіусі рифів рівною 5 мм. Подальше збільшення радіусу рифів призводить до зменшення часу руху по вертикальній ділянці решета з рифами, що пов'язано зі сходом зернівки з поверхні рифа та пролітанням над деякою плоскою вертикальною циліндричною частиною решета. Зменшення часу руху по решету, згідно основного рівняння сепарації [4], погіршує технологічну ефективність сепарації і є недоцільним.

На рис. 4 представлено графічні залежності переміщення та швидкості руху зернівки по поверхні вертикального циліндричного решета при різній відстані між рифами та радіусі рифів 5 мм. При цьому необхідне виконня умови:

$$L \geq 2 \cdot r. \quad (14)$$

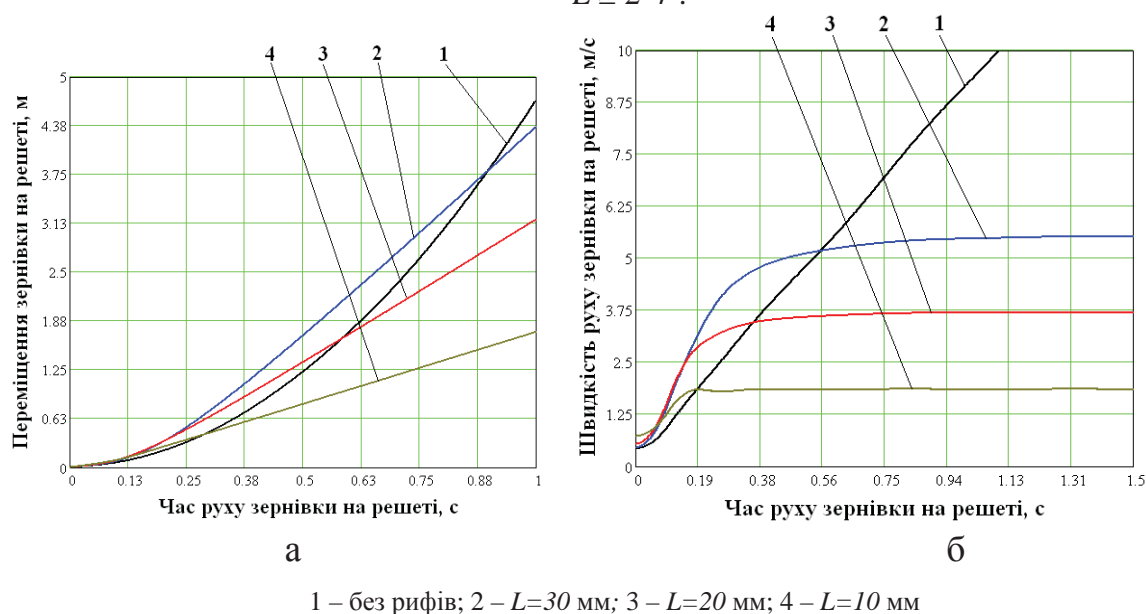


Рисунок 4 – Графічні залежності переміщення (а) та швидкості (б) руху зернівки по поверхні вертикального циліндричного решета від часу при різних значеннях радіусу рифа

Графічні залежності представлені на рис. 4 показують, що зменшення відстані між рифами L збільшує час руху по поверхні решета. Між тим, при невеликій відстані між рифами L зменшується зона сепарації на решеті. Тому з технологічних міркувань відстань між рифами L повинна бути в межах 20 – 30 мм.

Висновки. Розроблена математична модель руху зерна по поверхні вертикального циліндричного решета з рифами на основі диференційного рівняння з урахуванням конструкційних параметрів рифів. Аналіз розв'язків отриманого диференційного рівняння показує, що час руху зерна по поверхні решета можливо збільшити при радіусі рифа в межах від 5-7,5 мм та відстані між рифами 20-30 мм.

Список літератури

1. Прилуцький А.Н. До обґрунтування раціональної конструкції вібровідцентрових решіт / А.Н. Прилуцький, С.П. Степаненко, В.С. Зінчук // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. — Вип. 10, том 5 1976. – С. 151 – 156.
2. Блехман И.И. Вибрационное перемещение. / И.И. Блехман, Г.Ю. Дженелидзе — М. Наука, 1964. – 410 с.
3. Заика П.М. Избранные задачи земледельческой механики / П.М. Заика – К.: Изд-во УСХА, 1992. – 512 с.
4. Гортинский В.В. Процессы сепарации на зерноперерабатывающих предприятиях / В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин — М.: Колос, 1980. – 283 с.

5. Гончаров Е.С. Механико-математическая модель движения частиц семенной смеси по поверхности ротора пневмовиброцентробежного сепаратора / Е.С. Гончаров, С.И. Малюта, // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – К., 1986. — вып. 64, – С. 24 – 29.
6. Тищенко Л.Н. Гидродинамика сепарирования зерна / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский – Х.: «Міськдрук», 2010. – 174 с.
7. Тищенко Л.Н. Виброрешётная сепарация зерновых смесей / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский – Х.: «Міськдрук», 2011. – 280 с.
8. Тищенко Л.Н. Колебания зерновых потоков на виброрешётах / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский – Х.: «Міськдрук», 2012. – 267 с.

Sergey Stepanenko, Victor Shvidia

National scientific center " Institute for Agricultural engineering and electrification" Glevakha, Kiev region, Ukraine

Theoretical research of dynamics grain movement on the surface of vertical cylindrical sieve on the reefs

Development of mathematical model of moving of grain on the surface of vertical cylindrical sieve at presence of harmonic vibrations and reefs on his surface.

Let a weevil move without wedging on the surface of vertical cylindrical sieve by the radius of R by z reefs, that present the semi-sphere of radius of r . Thus distance between reefs makes L . A sieve carries out a rotation about vertical axis with an angular ω_2 and simultaneously, fluctuating motion on the harmonic law of vzdol' vertical line with an angular ω_1 .

Differential equalization is equalization of the special kind decision of that not виражається in elementary functions. Meantime, the numeral methods of integration allow to decide these types of equalizations. We will take advantage of numeral method of Рунге-Кутта, that it is realized by the function of *Odesolve* of package of softwares of *MathCad 13*.

The got graphic dependences show that time of motion on a sieve increases as compared to a surface without reefs ($r=0$) at the radius of reefs equal 5 мм. over the Further increase of radius of reefs brings to reduction of time of motion on the vertical area of sieve with reefs, that it is related to the tails of weevil from the surface of reef and flight above some flat vertical cylindrical part of sieve. Reduction of time of motion on a sieve according to basic equalization of separation worsens technological efficiency of separation and beside the purpose.

The mathematical model of motion of grain is worked out on the surface of vertical cylindrical sieve with reefs on the basis of differential equalization taking into account the construction parameters of reefs. The analysis of decisions of the got differential equalization shows that time of motion of grain on the surface of sieve, maybe, to increase at the radius of reef scope and distance from a 5-7,5 mm between reefs 20-30 mm.

reef, vertical cylindrical sieve, weevil, inertial force, dynamics, movement

Одержано 6.10.14