

UDC 621.9.048.6

Stotsko Z., DThSc., Professor.
Rebot D., Ph.D. in Engineering
Topilnytskyi V., Ph.D. in Engineering

National University "Lviv Polytechnic"

MODELING AND OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS OF LOOSE ENVIRONMENT VIBRATORY SEPARATION

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНОЇ СЕПАРАЦІЇ СИПКИХ СЕРЕДОВИЩ

Abstract: In the article is researched the influence of loose environment parameters on the efficiency of vibratory separation. There is described the advantages of vibrating separators and characteristics by providing of interaction of loose environment - drive - working container system. The mathematical model of environment movement is constructed and changes of the amplitude and frequency of loose environment vibrations are identified during the resonance.

Keywords: vibratory separator, oscillations, loose environment, amplitude, frequency.

INTRODUCTION

The rapid development of industry causes to the necessity of existing equipment improving and creating a new equipment, which will contribute to optimize technological processes. A variety of technologies extends the range of implemented operations that provide sorting of shredded material by its geometrical dimensions. This makes it necessary to study and improving the design of separating equipment, including such that is used in the separation loose vibration environments. Such equipment include: sieves, vibratory separators, sorting machines, centrifuges, screens, which are used in various fields of industry and agriculture and are extremely widely used in manufacturing, performing the sorting (by size, density, coefficient of friction, elasticity and other physical and mechanical characteristics) of various products. One of the types of separators is vibratory lattice separator. It is used for fractional division of production, purification (separation and reduction of impurities in materials), and provides high-quality separation.

Fig. 1 shows a diagram of the manufacturing process for the production of black insulating glass. The ribbon of black glass from the conveyor 1 is fed into the processing plant. Later its arriving in to the crushing rolls of crusher 2, where the ribbon is dividing into the round plates with a diameter of 1 cm. From the crushing rollers the round, similar to coins plates and waste fell into the lattice vibration separator 3 in which occurs

Анотація: В статті розглянуто вплив параметрів сипкого середовища на ефективність процесу вібраційної сепарації. Описано переваги вібраційних сепараторів та особливості їх роботи за умови взаємодії системи сипке середовище – привід – робочий контейнер. Побудовано математичну модель руху сипкого середовища та визначено зміни амплітуди та частоти коливань сипкого середовища за умови резонансу.

Ключові слова: вібраційний сепаратор, коливання, сипке середовище, амплітуда, частота.

ВСТУП

Стрімкий розвиток промисловості зумовлює необхідність модернізації існуючого обладнання та створення нового, яке сприятиме оптимізації технологічних процесів. Різноманітність технологій розширює коло впроваджуваних операцій, що забезпечують сортування подрібненого матеріалу за його геометричними розмірами. Це викликає необхідність дослідження та вдосконалення конструкції сепаруючого обладнання, зокрема такого, що використовується при вібраційній сепарації сипких середовищ. До такого обладнання відносяться вібросепаратори, сортувальні машини, центрифуги, грохоти, які використовуються у різних сферах промисловості та сільського господарства та знаходять надзвичайно широке застосування у виробництві, виконуючи сортування (по величині, густині, коефіцієнту тертя, пружності та інших фізико-механічних характеристиках) різноманітної продукції. Одним з видів вібраційних сепараторів є решітчастий вібросепаратор. Він використовується для по фракційного поділу продукції, очищення (відокремлення і зменшення домішок в матеріалах) та забезпечує високу якість сепарації.

На рис.1 зображена схема виробничого процесу виготовлення чорного скла. З печі відпалу стрічка чорного скла по транспортері 1 подається на валки в дробарці 2, де дробиться на круглі пластинки діаметром один сантиметр. З

their division by size. Defective are discarded and qualitative plates fall into the tray 4.

дробильних валків круглі монетоподібні пластинки та рештки скла попадають у решітчастий вібраційний сепаратор 3, в якому відбувається їх поділ за розміром. Брак відсіюється, а якісні пластинки попадають в лоток 4.

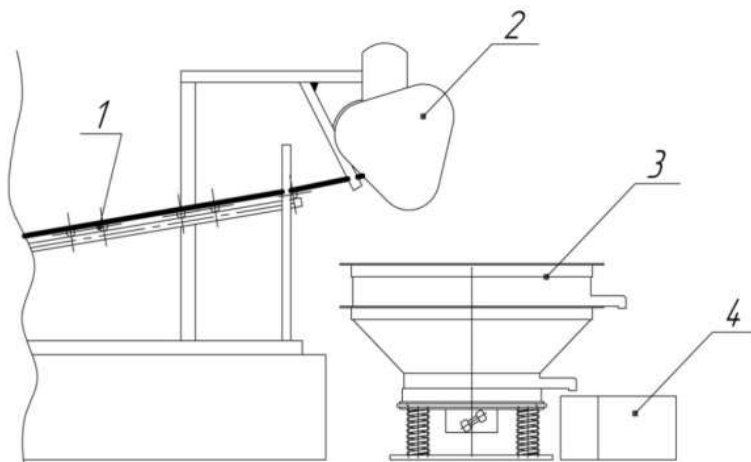


Fig. 1 . Scheme of the process of black glass vibratory separation / Схема процесу вібросепарації чорного скла. 1- conveyor / конвеєр.; 2 – crushing rolls / дробильні валки; 3- vibratory separator / вібраційний сепаратор; 4 – container for the source material / лоток на вихідний матеріал.

In this case, vibratory separator provides vertical vibrations. That's why the layer of bulk environment which is located at the sieve of vibrating separator receives a transverse disturbance and carries out the reciprocating movement in the vertical plane. At the same time, given that the sieve of vibrating separator is located at a certain angle to the horizon, layer of environment moves along a sieve with a certain set speed. Further we'll assume that this speed is relatively low and does not affect on the function that describes the physical and mechanical properties of the layer of loose environment.

Previous research [1-3] found that the effectiveness and efficiency of the production process depends not only from the construction of vibrating separator, but also from the interaction of the system downloading layer - container – drive of the vibratory separator [4-5]. In particular it should be noted that on the process of separation influences:

- basic geometrical parameters of the container of separator;
- basic physical and mechanical characteristics of the environment, which is separated (length, width, angle screens, etc.);
- ratio of amplitude fluctuations of the loose environment and container of vibratory separator;
- type of fluctuations movement of loose environment;
- the main characteristics of the interaction of loose environment with container walls of vibration separator and others;

On the intensity of interaction in the system downloading layer - container – drive influence such factors as the main parameters of a working container drive downloading layer and the container.

У такому випадку вібраційний сепаратор здійснює вертикальні коливання. Тому шар сипкого середовища, який знаходиться на ситі вібраційного сепаратора отримує поперечне збурення і здійснює зворотно-поступальний рух у вертикальній площині. Разом з цим, враховуючи, що сита вібраційного сепаратора знаходяться під певним кутом до горизонту, шар сипкого середовища рухається вздовж сита з певною заданою швидкістю. В подальшому вважатимемо, що ця швидкість є порівняно малою і не впливає на функцію, яка описує фізико-механічні властивості шару сипкого середовища.

Попередніми дослідженнями [1-3] встановлено, що ефективність та продуктивність виробничого процесу залежить не лише від конструкції вібраційного сепаратора, але й від взаємодії системи шар завантаження – контейнер – привід вібросепаратора [4-5]. Зокрема слід зазначити, що на процес сепарації впливають:

- основні геометричні параметри контейнера сепаратора (довжина, ширина, кут нахилу сит і т.д.);
- основні фізико-механічні характеристики середовища, що сепарується;
- відношення амплітуд коливань сипкого середовища та контейнера вібраційного сепаратора;
- вид руху коливань сипкого середовища;
- основні характеристики взаємодії сипкого середовища з стінками контейнера вібросепаратора та ін.

На інтенсивність взаємодії коливальної системи сипке середовище – контейнер – привід вібросепаратора впливають параметри робочого контейнера, шару завантаження та самого контейнера.

PROBLEM STATEMENT

The effectiveness of screening in vibratory separators characterized by performance coefficient of sieves. That is ratio of the mass of environment that has come through a sieve to the identical mass of environment that is contained in the original mix. On the qualitative side of this process affects the thickness of the bulk material, moving in fat, shape and size of the holes and particle velocity of the material and its humidity. Also on the efficiency and quality of screening affect the dynamic processes that occur in the bulk environment during their treatment, particularly interaction between the particles while moving environment, the character of its vibrations [3]. It is quite difficult to described processes because during the vibration processing bulk environment performs a complex spatial movement. Given the complexity of its description solving this problem leads to resort to the use of asymptotic methods of nonlinear mechanics. For this further we will model the loose environment as the flat layers of elastic-plastic beams that are elastically in contact with each other and with the walls of the working container. This allows analyzing the impact of mathematical model of loose environment in the manufacturing process vibratory separation.

MAIN ARTICLE

Considering that the materials that are separated are different in shape, size and density, they can not be described by conventional linear relationships. Given that the layer of loose environment modeled as a flat elastic beam in contact with the walls of the container, to describe its elastic properties is used a nonlinear law of elasticity:

$$\sigma = E\varepsilon_n^{\nu+1} \tag{1}$$

In the above-mentioned ratio σ - dynamical tension in the layer of loose environment; ε_n - relative deformation of the layer of loose environment; E - integral "conditional" modulus of elasticity; $\nu + 1$ - the degree of nonlinearity that characterizes the elastic properties of the material. Considering that in the investigation the impact of external factors on the process of bulk environment vibration is describing (periodical perturbation of working container by vibrator), we'll take values $\nu + 1$ different from zero and assume that this number is odd.

Then the differential equation of vibrations of loose environment can be written as:

$$u_{tt} - \alpha^2 u_x^\nu u_{xx} = 0 \tag{2}$$

In the differential equation (2) $u(x, t)$ - longitudinal displacement of layer of the bulk environment with the coordinate x for arbitrary moment of time t ; α - is described by nonlinear elastic properties of loose

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Ефективність просіювання у вібраційних сепараторах характеризується коефіцієнтом корисної дії сит, тобто відношенням маси середовища, що пройшло крізь сито до ідентичної маси середовища, що міститься у вихідній суміші. На якісну сторону цього процесу має вплив товщина шару сипкого матеріалу, що переміщається по ситу, форма і величина отворів сита та частинок матеріалу, швидкість переміщення матеріалу та його вологість. Також на ефективність та якість просіювання впливають динамічні процеси, що відбуваються у сипкому середовищі під час їх оброблення, зокрема взаємодія між частинками під час руху середовища, характер його коливань [3]. Це доволі важко-описувані процеси, тому що під час вібраційної сепарації сипке середовище виконує складний просторовий рух. Враховуючи складність його опису, вирішення даної задачі спонукає вдатися до використання асимптотичних методів нелінійної механіки. Для цього сипке середовище моделюється як нашарування плоских пружно-пластичних балок, які пружно контактують між собою та зі стінками робочого контейнера. Це дозволяє проаналізувати вплив математичної моделі руху сипкого середовища на технологічний процес вібросепарації.

ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

Беручи до уваги, що матеріали, які сепаруються різняться за формою, густиною та розміром, їх неможливо описати за допомогою звичайних лінійних співвідношень. За умови, що шар сипкого середовища моделюється як плоска пружна балка, що контактує з стінками контейнера, для опису його пружних властивостей використовується нелінійний закон пружності:

У вищевказаному співвідношенні σ - динамічне напруження в шарі сипкого середовища; ε_n - відносна деформація шару сипкого середовища; E - інтегральний "умовний" модуль пружності, $\nu + 1$ - степінь нелінійності, що характеризує пружні властивості матеріалу. Враховуючи, що у дослідженнях розглядається вплив зовнішніх чинників на процес коливання сипкого середовища (періодичне збурення робочого контейнера вібратором) приймаємо значення $\nu + 1$ відмінним від нуля.

Тоді диференціальне рівняння коливань сипкого середовища можна записати у вигляді:

В диференціальному рівнянні (2) $u(x, t)$ - поздовжнє переміщення шару сипкого середовища із координатою x за довільний момент часу t ; α - описується через нелінійні пружні властивості

environment and its density of the loading layer:

$$\alpha^2 = \frac{E(\nu+1)}{\rho}$$

Further we'll assume that the dynamic frictional forces are small, and density of loose environment is unchanged.

Provided that the boundary conditions of (2) will be looks like:

$$u(x,t)|_{x=0} = u(x,t)|_{x=l} = 0, \quad (3)$$

then single-frequency solutions of the boundary problem (2) can be written using periodical Ateb-functions [4]:

$$u(x,t) = a \cdot \text{sa}(1, 1/(\nu+1), kx/l) \text{ca}(\nu+1, 1, \omega(a)t + \varphi_0) \quad (4)$$

Period of own vibrations of bulk environment is depended on their amplitude and is determined by dependence:

$$T_k = 2\sqrt{\pi} \Gamma(\nu+2) \alpha \cdot \Gamma^{-1}((1/2) + \nu + 2) / \omega(a) \quad (5)$$

The oscillation frequency of bulk environment can be defined by the equation:

$$\omega(a) = \alpha(k/l)^{(\nu+2)/2} a^{\nu/2} = (E(\nu+1) a^{\nu} (k/l)^{\nu+2} / \rho)^{1/2} \quad (6)$$

As known small by size frequency of fluctuations of the container cause a nonsignificant change in the amplitude and frequency of vibrations in the bulk medium, up to the moment when the frequency of the external disturbance is approaching to the frequency of natural oscillations of bulk environment, which leads to resonance. Last causes a rapid increase in the vibration amplitude when entering the area of resonance, and increase the intensity of vibration separation process.

From equation (4-6) can be determined the dependence of the amplitude and frequency of vibrations of loose environment of its nonlinear parameter values (characteristic of the environment type). Provided that the oscillation frequency of loose environment approaches to the oscillation frequency of the container of vibratory separator ($\omega \rightarrow \mu(\tau_0)$), which indicates on the resonance in the loose environment. It provides improvements of efficiency in the vibratory separation process. The dependence of the amplitude and frequency of vibrations of loose environment shown in Fig. 2 and Fig. 3.

сипкого середовища та густину його шару завантаження: $\alpha^2 = \frac{E(\nu+1)}{\rho}$.

В подальшому вважатимемо, що динамічні сили тертя є малими, а густина сипкого середовища є незмінною величиною.

За умови, що крайові умови рівняння (2) матимуть вигляд:

тоді одночастотні розв'язки крайової задачі (2) можна записати використавши періодичні Атеб-функції [4]:

Період власних коливань сипкого середовища T_k залежить від його амплітуди та визначається залежністю:

Частота коливань сипкого середовища визначається залежністю:

Як відомо, мала за величиною частота коливання контейнера викликає незначну зміну як амплітуди так і частоти коливань у сипкому середовищі, аж до моменту коли частота зовнішнього збурення (частота коливання контейнера) наближається до частоти власних коливань сипкого середовища, що призводить до резонансу. Останнє спричиняє стрімке зростання амплітуди коливань при входженні в резонансну зону, та збільшення інтенсивності процесу вібраційної сепарації.

З рівнянь (4-6) можна визначити залежність амплітуди та частоти коливань сипкого середовища від значень його нелінійного параметра (характеристики типу середовища), за умови, коли частота коливань сипкого середовища наближається до частоти коливань контейнера вібросепаратора ($\omega \rightarrow \mu(\tau_0)$), тобто за умови резонансу в сипкому середовищі. Останнє забезпечує підвищення ефективності процесу вібросепарації. Залежність амплітуди та частоти коливань сипкого середовища представлена на рис. 2 та рис. 3.

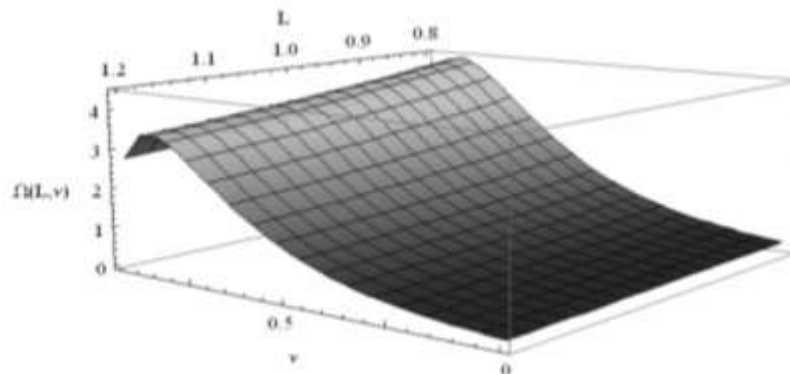


Fig.2 Graph of the frequency oscillation depending of loose environment length and load layer coefficient that takes into account nonlinear elastic properties of the of loose environment / Графік залежності частоту

коливання сипкого середовища від довжини шару завантаження та коефіцієнта, що враховує нелінійні пружні властивості сипкого середовища.

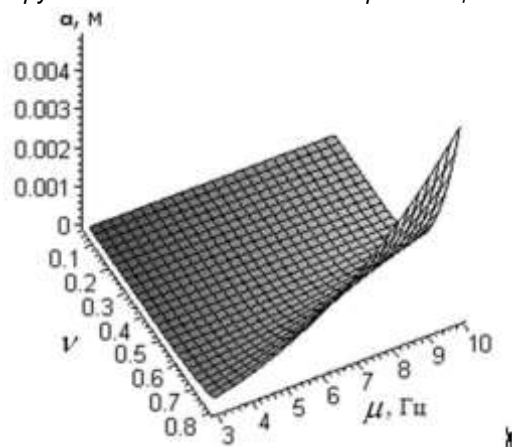


Рис.2 Graph of dependence of amplitude oscillation depending of loose environment length and load layer coefficient that takes into account nonlinear elastic properties of the of loose environment / Графік залежності амплітуди коливання сипкого середовища від частоти та коефіцієнта, що враховує нелінійні пружні властивості сипкого середовища.

CONCLUSIONS

After analyzing the graphic dependence (Fig. 2.3) can be concluded that vibratory separation process is passing by complicated law, where both captured both frequency and amplitude of loose environment. and for more stringent environments separation is more intense at higher values of amplitude. The optimal value of the amplitude and frequency of vibrations of loose environment for effective separation process can be determined using the nonlinearity coefficient that takes into account the type of material and "conditional" modulus of elasticity that allows for downloading layer parameters [4].

REFERENCES

- [1]. Blekhman I.I. Vibratory movement. / I.I. Blekhman, G.Y. Dzhanelidze // Nauka, Moscow. - 1964. – 410 p.
- [2]. Geniiv G.A. The dynamics of granular material / G.A. Geniiv // CRI building. Constr. them. V.A. Kucherenko. M. Gosstroyizdat.-1958- 2.-122 p.
- [3]. Goncharevich I.F. Vibrating screens and conveyors. / I.F. Goncharevich, V.D. Zemskov, V.I.Koreshkov. - M., Gosgortekhzdat - 1960. - 380 p.
- [4]. Rebot D.P. Formation of dynamic parameters and increase the efficiency of vibratory separators for granular media: Dissertation, National University "Lviv Polytechnic". - Lviv, 2001. - 36 p.
- [5]. Rebot D.P. Dynamics of loose environment during vibroseparatsiyi /Rebot D.P. PNTU // Collected Works. Series: Sector engineering, construction. - 2009. - Vol. 3 (25). - with. 188 - 192
- [6]. Bogolyubov N.N., Asymptotic methods in the theory of nonlinear oscillations. / N.N. Bogolyubov, Yu.A. Mytropolskiy // Moscow, ed. Nauka., 1974.- 504 p.
- [7]. Sokyl B.I. Asymptotic approximations to non-autonomous non-linear equation/ B.Y.Sokyl //

ВИСНОВКИ

Проаналізувавши графічні залежності (рис. 2-3) можна зробити висновки, що процес вібросепарації відбувається за складним законом, де одночасно враховуються як частота так і амплітуда сипкого середовища, причому для більш жорстких середовищ сепарація відбувається інтенсивніше при більших значеннях амплітуди коливань. Оптимальні значення амплітуди та частоти коливань сипкого середовища для забезпечення ефективного процесу сепарації можна визначити використавши значення коефіцієнта нелінійності, який враховує тип матеріалу, та "умовного" модуля пружності, який враховує параметри шару завантаження [4].

БІБЛІОГРАФІЧНІ ПОСИЛАННЯ

- [1]. Блехман И.И. Вибрационное перемещение. / И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе // М., Наука. –1964. – 410 с.
- [2]. Гениев Г.А. Вопросы динамики сыпучей среды / Г.А. Гениев // ЦНИИ строит. констр. им. В.А. Кучеренко. М. Госстройиздат.–1958.–вып. 2.–122 с.
- [3]. Гончаревич И.Ф. Вибрационные грохоты и конвейеры./ И.Ф. Гончаревич, В.Д.Земсков, В.И.Корешков. – М., Госгортехиздат – 1960. – 380 с.
- [4]. Ребот Д.П. Формування динамічних параметрів та підвищення ефективності вібросепараторів сипких середовищ: Автореф. Дис...к-та техн. наук: 05.02.09. / Національний ун-т "Львівська політехніка". – Львів, 2001. – 36 с.
- [5]. Ребот Д.П. Динаміка сипкого середовища при вібросепарації / Д.П. Ребот // ПНТУ Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – 2009. – вип. 3(25). – с. 188 – 192.
- [6]. Боголюбов Н.Н., Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. / Н.Н. Боголюбов, Ю.А. Митропольский //Москва, изд. Наука.–1974.– 504 с.
- [7]. Сокил Б.И. Асимптотические приближения для одного нелинейного неавтономного уравнения /