

## АНАЛИЗ НА ТЕХНИКО-РАБОТНИ ПАРАМЕТРИ НА ВИБРАЦИОНЕН СЕПАРАТОР С ГЛАДКА НЕПЕРФОРИРАНА ПОВЪРХНОСТ

**Николай РАЧЕВ**

катедра „Инженерна логистика, подемно-транспортна и строителна техника”, Технически университет - София, България

e-mail: [nikolayrachev@tu-sofia.bg](mailto:nikolayrachev@tu-sofia.bg)

катедра „Инженерна логистика, подемно-транспортна и строителна техника”, Технически университет - София, България

e-mail: [vpanov@tu-sofia.bg](mailto:vpanov@tu-sofia.bg)

катедра „Машинни елементи и неметални конструкции”, Технически университет - София, България

България

[dcv@tu-sofia.bg](mailto:dcv@tu-sofia.bg)

### Резюме:

В работата е предложен експериментален подход за извършване на комплексен анализ на влиянието на позицията на захранването и честотата на принудените трептения върху ефективността на сепариране на насипни зърнести материали по неперфорирана гладка повърхност. Установени са зависимости с важно теоретично и приложно значение за управление на ефективността на процеса на сепариране.

**Ключови думи:** вибрационно сепариране, насипни зърнести материали, технико-работни параметри

### 1. УВОД

Повишаването на ефективността на сепариране на насипните зърнести материали по неперфорирана гладка повърхност ангажира отдавна вниманието на инженери и мениджъри. Редица са факторите, които влияят върху ефективността на процеса на сепариране като: амплитуда, честота и направление на принудените трептения; вида, геометричните, кинематичните и динамичните параметри и положението в пространството на работната повърхност; вид, позиция и дебит на захранващите устройства; вида и физикомеханичните свойства на сепарирувания материал и др. Значителна част от тези фактори са изследвани от редица съвременни автори [1,2,3] и са изведени съществени теоретични и теоретико-експериментални зависимости свързани с ефективността на сепариране [3,4].

Разработени са методики за оптимизиране на ефективността на сепариране по отношение на: честота, амплитуда и наклон на повърхността [6]; скоростта на захранващия материал [7]; вероятността за ефективно сепариране във времето [8]; амплитудно-честотната характеристика на машината [9] и др.

Въпреки наличието на значим обем изследвания в областта на сепарирането на фин зърнест материал, чрез неперфорирана гладка повърхност

за повишаване на ефективността на работа на сепараторите е необходимо да се отчете влиянието и на такива фактори като позицията на захранване, зоната на разсейване на отделните класове частици и разположението на продуктите ръкави. Целта на настоящата работа е да се предложи експериментален подход за анализ на комплексното влияние на посочените фактори върху ефективността на сепариране на насипни зърнести материали по неперфорирана гладка повърхност.

### 2. ОБЕКТ, МЕТОДИ И СРЕДСТВА

Обектът на изследване е вибрационен сепаратор с наклонена гладка повърхност. Анализът на комплексното влияние на технико-работните му параметри върху ефективността на сепариране се извършва, чрез установяване на съществени зависимости на базата на проведени серия от целенасочени експерименти върху изграден полупромишлен образец [3].

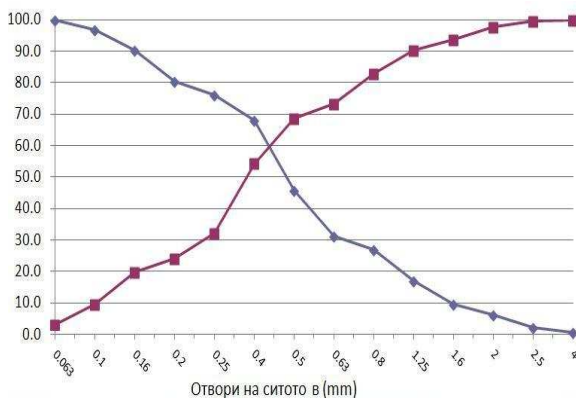
#### 2.1. Промяна на позицията на захранване

За определяне на оптималната позиция на захранващия бункер се разглеждат дискретни положения (фиг. 2) и се прави анализ как изменението на надлъжната и напречна му позиция спрямо работната повърхнина влияят върху ефектив-

ността на сепариране при запазване на останалите параметри. В този случай под ефективност на сепарирането е прието да се разбира максималното отделяне на посоките на движение на различните едрини частици по работната повърхност.

Приложимият метод на изследване в този случай е проследяване и анализ на изменението на посоката и границите на разпределение на материала по работната повърхност, при различни, предварително определени позиции на захранване. Логично е да се очаква, че позицията на захранване ще предпоставя и определени геометричните параметри на работната повърхност и установяването на техните оптимални стойности.

Материалът, който се сепарира е кварцов пясък със зърнометричен състав представен на фиг.1. Размерите на зърната на пясъка е в диапазона 0-4[mm]. Броят на различните класове едрини е 14.

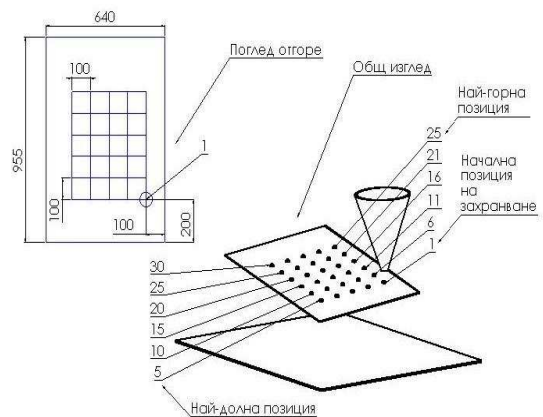


Фиг.1. Зърнометрична характеристика на изходния продукт.

Зърнометричният състав и обемът на продукта се запазват при всеки опит. След всеки опит се прави зърнометричен анализ на сепарирания материал във всеки продуктов ръкав. Чрез графично представяне на резултатите се проследява процентното разпределение на отделните класове продукти по работната повърхност, респективно по приемни ръкави в зависимост от промяната на позицията на захранване.

На фиг.2 е показано разположението на отделните позиции на захранващия бункер върху работната повърхност като разстоянието между тях е избрано чрез проведени предварителни експерименти. Продуктовите ръкави са разположени по периферията на работната повърхност през

15° около позиция на захранване (фиг.3). С нарастването на поредния номер на захранване (номер на проведен опит), нараства номера на реда на захранващите позиции като всеки ред съдържа по пет позиции на захранване.



Фиг.2. Позиция на захранващия бункер върху работната повърхност.



Фиг.3. Разположение на продуктите ръкави.

## 2.2. Посока на движение на материала

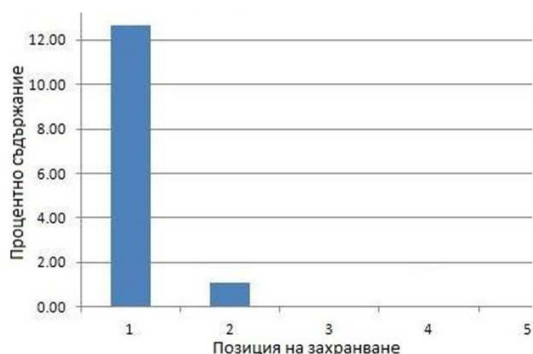
За всяка позиция на захранващия бункер е проведен отделен опит като общият им брой е 30. Процентно разпределение на изходния материал по продуктови ръкави за всеки конкретен опит е представено в таблица 1.

За всеки пет поредни опита е построена графика (фиг.4), която показва какъв процент от входния материал се отделя в даден продуктов ръкав. Така може да се прецени за всяка една позиция на захранване, посоката на движение на

материала. Вижда се, че при първия опит в продуктов ръкав №1, се събира 12,68% от материала.

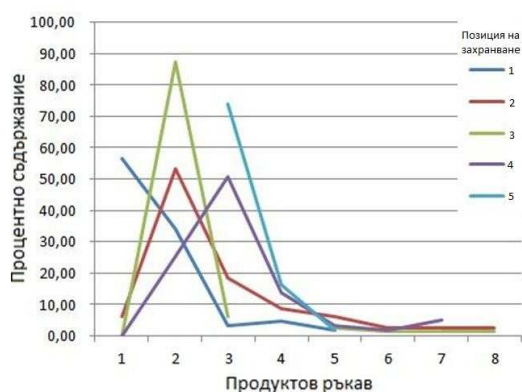
Табл. 1. Процентно разпределение на материала.

Клас	Продуктов ръкав							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0.06	14.17	13.13	0.65	1.21	0.70			
0.10	17.41	13.75	5.21	1.61	2.11	0.97	0.41	1.01
0.16	33.60	25.00	8.14	2.02	3.52	2.91	2.04	3.02
0.20	13.77	9.38	6.84	4.84	4.23	10.68	4.90	4.44
0.25	10.12	13.75	13.36	9.27	11.27	11.65	6.94	6.65
0.40	8.50	20.63	29.97	32.66	25.35	20.39	16.73	8.47
0.50	2.02	3.13	18.24	22.18	17.61	19.42	10.20	11.09
0.63	0.40	0.63	8.14	8.06	10.56	10.68	10.20	6.85
0.80		0.63	9.12	11.69	13.38	15.53	11.02	12.90
1.25			0.33	6.05	10.56	4.85	12.65	18.35
1.60				0.40	0.70	0.97	8.98	8.27
2.00						0.97	13.47	12.30
2.50						0.97	2.04	4.64
4.00							0.41	2.02
	12.68	8.21	15.76	12.73	7.29	5.29	12.58	25.46



Фиг.4. Процентно разпределение на изходния продукт в продуктов ръкав №1 за пет последователни опита.

### 2.3.Разпределение на класовете на изходния материал



Фиг.5. Процентно разпределение на продукт с едрина 0-0,063[mm] по продуктови ръкави.

Проведените експерименти позволяват да се проследи разпределението на даден клас продукт по отделните продуктови ръкави в зависимост от

позицията на захранване на материала. На фиг.5 е показана графиката на разпределение на продукт с едрина 0-0,063[mm], по отделните продуктови ръкави в зависимост от позицията на захранване. Използва се свързваща линия за изразяване на процентното съдържание на материала, между отделните продуктови ръкави, защото тя нагледно показва позицията на максималния обем материал и неговото разсейване. Иначе казано, колкото по-висок е връхът на графиката за даден опит и склоновете са по-стръмни, то толкова по-добре се е обособил, сепарирал дадения клас едрина материал и обратното.

### 2.4. Изменение на честотата на принудените трептения

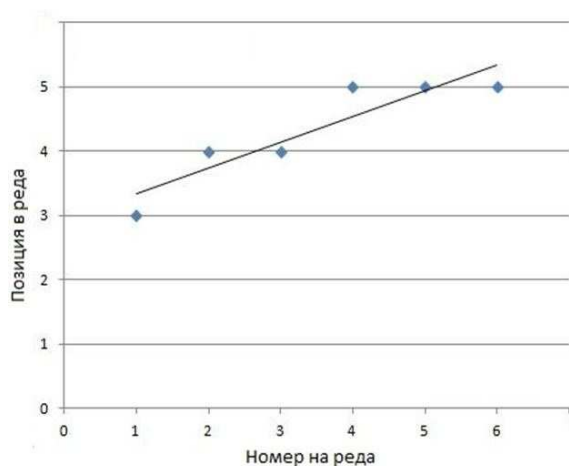
Прието е изменението на честотата на принудените трептения да се изменя в интервала от 30 Hz до 60Hz със стъпка 5Hz. При постоянни стойности на всички други параметри се проследява изменението на разпределението на изходния продукт по продуктовете ръкави.

## 3. РЕЗУЛТАТИ

### 3.1.Посока на движение на материала

От гледна точка на максималното запълване на всеки един от продуктовете ръкави е проследена зависимостта между нарастването на реда на захранване и номера на позицията на захранване вътре в него. Статистическият анализ е проведен с програмния продукт Statistica.

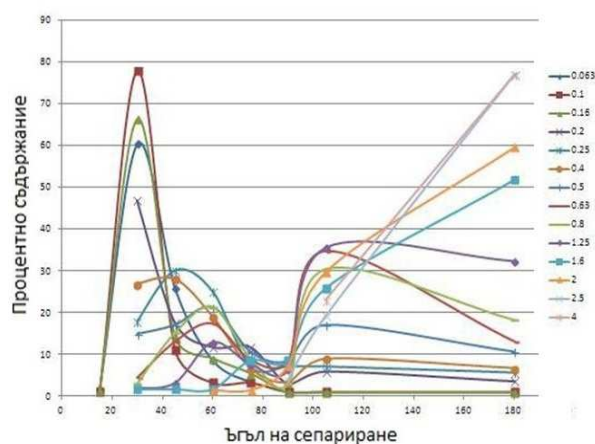
При първите 4 продуктови ръкава се наблюдава линейна зависимост между нарастването на реда на захранване и позицията на захранване в самия ред (фиг.6). Това означава, че за да се поддържа максимално количество от материал в продуктов ръкав №2, с нарастването на реда на захранване, трябва да се увеличи и номера на позицията на захранване на самия ред. С други думи при движение на позицията на захранване нагоре по наклона на работната повърхност е необходимо съответно изместяване и в странична посока. В същото време за продуктов ръкав №5 не се забелязва подходяща зависимост, между нарастването на реда и позицията на захранване на материала. Докато при останалите продуктови ръкави от №6 до №8 включително, съществува обратна зависимост.



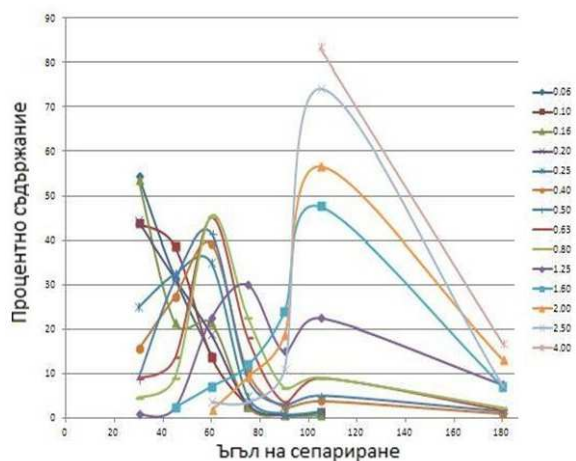
Фиг.6. Зависимост между номер на реда и позицията на захранване.

### 3.2. Разпределение на класовете на изходния материал

За всеки стандартизиран размер материал (кварцов пясък) е отчетено влиянието на изменението на позицията на захранване върху качеството на сепариране на крайния продукт. Търси се постигане на максимална ефективност на сепариране, което означава максимална определеност на посоката и траекторията на движение на даден размер пясък по работната повърхност. За да се проследи качеството на сепариране, се проверява даден размер продукт, в каква област се сепарира - броя на продуктите ръкави фиг.3. Ако например се вземат два съседни по размер едрини пясък, се търси 95% от материала, в кои продуктови ръкави се е сепарирал. За да може да се представят резултатите графично е необходимо продуктите ръкави да се представят чрез съответните ъгли на сепариране спрямо захранваща позиция №1 (фиг. 3), като това няма нищо общо с ъгъла на разсейване на материала по работната повърхност по време на сепариране. Така както е показано на фиг.3 границите на всеки продуктови ръкави са определени през  $15^{\circ}$ , което означава, че всичките 8 продуктови ръкави могат да се представят позиционирани между  $0^{\circ}$  и  $180^{\circ}$ . Като единствено последния продуктови ръкави обхваща по-голям ъгъл, който е от  $105^{\circ}$  до  $180^{\circ}$ -тия градус. На фиг. 7 и фиг.8 е представено разпределението на материала по продуктите ръкави при различни позиции на захранващия бункер.



Фиг.7. Разпределение на класовете на изходния материал при седма позиция на захранващия бункер.

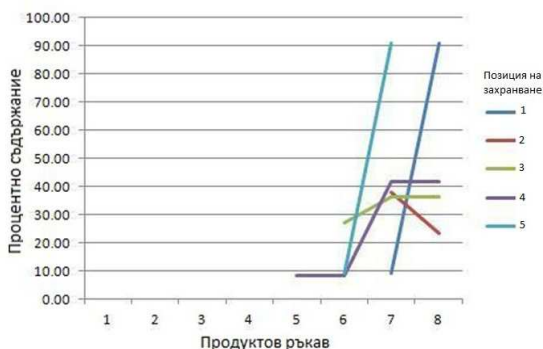


Фиг.8. Разпределение на класовете на изходния материал при осемнадесета позиция на захранване.

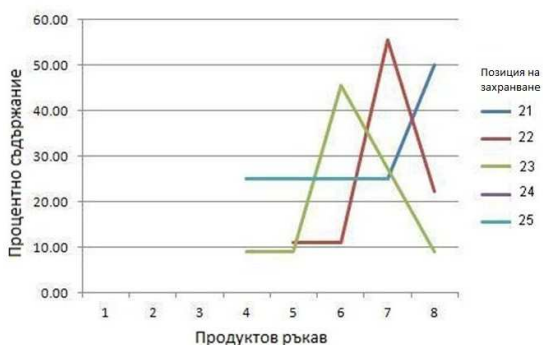
От проведените експерименти, както е показано на фигури 7 и 8 се вижда, че с промяната на позицията на захранване:

- се променя позицията на сепариране на различните класове материал (фиг.9 и фиг.10) при едни и същи позиции на продуктите ръкави,;
- се променят позициите на сепариране на дадени групи класове материал;
- се променят групите класове материал, сепарирани в дадена област;

- се променя ъгъла на разсяване на даден клас материал;

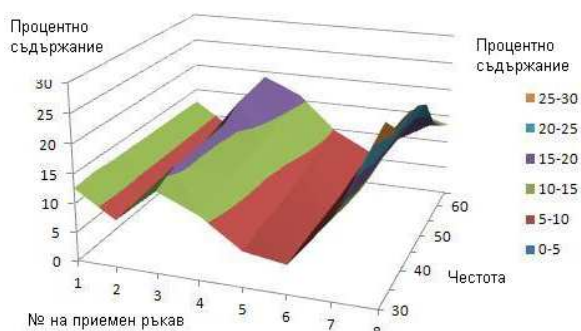


Фиг.9. Сепариране на продукт с едрина 2,5-4[mm].



Фиг.10. Сепариране на продукт с едрина 2,5-4[mm].

### 3.3.Изменение на честотата на принудените трептения



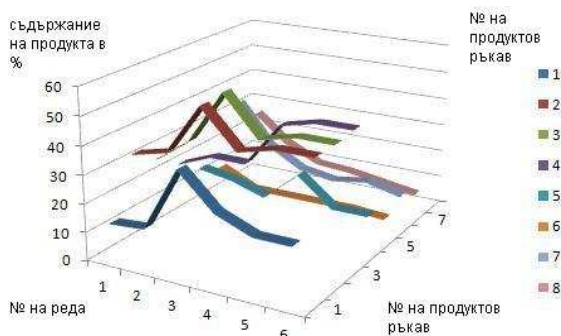
Фиг.11. Разпределение на материала с изменение на честотата на трептене.

При увеличаване на честотата на трептене на работната повърхност, се наблюдава нарастване обема на сепарирания материал в продуктови

ръкави от №3 до №5 включително. Това е за сметка на останалите продуктови ръкави. При тях с увеличаване на честотата на трептене, се получава намаляване на обема на приетия материал (фиг.11).

### 4. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Посоката и траекторията на движение на материала определя до голяма степен необходимата площ на работната повърхност за сепарирането му. Само чрез промяната на реда на захранване по дължина на работната повърхност може да се определи каква дължина е необходима за оптимално сепариране на материала (фиг.17). Прекалено късата дължина не би могла да допринесе за достатъчно качествено сепариране на материала.



Фиг.17. Процентно съдържание на клас продукт в даден продуктив ръкав в зависимост от положението на захранване.

Чрез промяната на позицията на захранване се забелязва съществено изменение на сепарирането на дадени групи класове материал. Поради сложното взаимодействие между всички едрини частици и необходимостта от достатъчно разстояние за да се структурира движението на всяка една от тях по посока, направление и желаната траектория е необходимо да се определи оптимална площ на сепариращата повърхност или оптимална позиция на захранване. Оптималните размери на работната повърхност не биха могли да се определят еднозначно за сепариране на всички класове продукти. Използването на една единствена позиция на захранване не може да осигури еднаква ефективност на работа на машината по отношение на всички класове продукти. Ефективността на сепариране за клас продукти

---

може да се увеличи или чрез промяна на позицията на захранване или чрез промяна на разположението на приемните ръкави по периферията на работната маса.

Изменението на честотата на принудените трептения може да повиши производителността на сепариране на определени класове продукт и спомага за промяната на закона на разпределение на материала в определени граници.

## 5. ИЗВОДИ

От проведените изследвания могат да се формулират следните по-важни изводи:

5.1. Предложеният експериментален подход позволява да се извърши комплексен анализ на влиянието на позицията на захранването и често-

тата на принудените трептения върху ефективността на сепариране на насипни зърнести материали по неперфорирани гладка повърхност

5.2. Промяната на позицията на захранване влияе съществено върху направлението, посоката и траекторията на движение на насипните сърнести материали.

5.3. Чрез промяна на позицията на захранване и/или на ъгъла на сепариране може да се постигне управление на ефективността на сепариране.

5.3. Нарастването на честотата на трептене на работната повърхност увеличава обема на сепариран материал в някои продуктови ръкави за сметка други и води до промяната на закона на разпределение на материала.

## Литература:

1. **Митрев Р. П.** Механо-математично моделиране на процес и машина за вибросепарация. Дисертация. ТУ-София. 2004.
2. **Блехман И. И. Г. Ю. Дженелидзе.** Вибрационното перемещение. Наука. Москва. 1964.
3. **Вражилски Д. Ц.** Изследване на работния процес и параметри на вибрационен сепаратор. Дисертация. ТУ-София. 2009.
4. **Плисс. Д. А.** К теории вибрационной сепарации. Механика твердого тела. АН СССР. 1967
5. **Blekhman I.** Vibrational mechanics. World scientific. London 2000.
6. **Guifeng W. Xin T.** Screening efficiency and screen length of a linear vibrating screen using DEM 3D simulation
7. **Cleary P. Sinnott M. Morrison Rob.** Separation performance of double deck banana screens – Part 1: Flow and separation for different accelerations. Elsevier 2009.
8. **Trumic M. Magdalinovic N.** New model of screening kinetics. Elsevier 2011.
9. **Анатольевич Б.** Изыскание эффективных методов и технологических схем доводки труднообогатимых золотосодержащих шлихов россыпных месторождений. Автореферат. Чита 2008.

## DETERMINATION OF FLAT VIBRATING SEPARATING SURFACE PARAMETERS

**Nikolay RACHEV**

**Vesko PANOV**

**Dragomir VRAZHILSKI**

Logistics engineering department, Technical University-Sofia, Bulgaria  
e-mail: [nikolayrachev@tu-sofia.bg](mailto:nikolayrachev@tu-sofia.bg)

Logistics engineering department, Technical University-Sofia, Bulgaria  
e-mail: [vpanov@tu-sofia.bg](mailto:vpanov@tu-sofia.bg)

Machine elements and non-metallic constructions department, Technical University-Sofia, Bulgaria  
e-mail: [dvc@tu-sofia.bg](mailto:dvc@tu-sofia.bg)

**Abstract:** The aim of the study is to propose an experimental approach for complex analysis of feeding position and influence of frequency on separation process of a flat vibrating separator. Important practical and theoretical factors controlling separation process efficiency are determined.

**Keywords:** vibration separation, grain materials, technical and operating parameters

---