

THEORETICAL ASPECTS RELATED TO THE AIR FLOW THROUGH THE SEED LAYER ON THE PNEUMATIC-VIBRATING MACHINE SURFACE

ASPECTE TEORETICE PRIVIND CIRCULAȚIA CURENTULUI DE AER, PRIN STRATUL DE SEMINȚE DE PE SUPRAFAȚA MAȘINII PNEUMO-VIBRATOARE

Prof. Ph.D Eng. Căsândriou T., Eng. Buciuman F.V.

POLITEHNICA University of Bucharest / Romania

Tel: 0728833188; E-mail: florina_buciuman@yahoo.com

Abstract: The thesis presents the main theoretical elements related to the air flow going through granular bed under vibrating motion. It draws the hypothesis of analogy between the vibrating granular layer and the stationary layer, having in view that the seeds speed on the machine table are relatively low and consequently their influence upon air flow through layer can be neglected. It is emphasized that in this case can be utilized with good results, the Ergun equation as a link between pressure downfall ($-\Delta P$) on the thickness of the seed layer and air speed for a global laminar turbulent way through layer. On this basis have been presented theoretical studies for two different machines used in the concrete work practice for wheat and barley seeds. Experimental results obtained regarding the pressure downfall ($-\Delta P$) subject to the fans air flow of these machines have been compared to those evaluated by calculation and there is reasonable difference (errors $\pm 5\%$).

Keywords: pressure downfall ($-\Delta P$), stratification, global laminar- flow, minimum fluidization speed

INTRODUCTION

One of the necessary operations for sorting seeds, often used, is sorting seeds by their density. The pneumatic vibrating machines [6, 7] are used for sorting seeds by density. The flat working surfaces of such machine which carry out segregation are represented schematically in fig.1.

By means of this method the selection is realized as an effect of a combined action of a continuous air flow which is homogeneous, upward, of constant pressure and goes through the seed layer situated on a cobweb or wire net surface and due to the vibrations at which this surface is subject. [2,3,4].

As a result of air flow together with the agitation caused by vibrations of the surface, the particle mixture on the sorting surface will get loose the particles arriving in the air flow in suspension condition and a stratification by density of the seeds is obtained, fig 2.

The stratification effect is favored if during the air circulation through seed layer, such layer will get loose up to fluidization limit, an increasing of the porosity of the seed layer, respectively, [6].

As proved by experimental researches [2, 4] the air circulation through seed layer situated on the flat surface of the pneumatic vibrating machine plays an important role in seeds stratification.

Rezumat: În lucrare se prezintă principalele elemente teoretice legate de curgerea aerului prin medii granulare în stare de mișcare vibratorie. Se formulează ipoteza analogiei între stratul granular vibrator cu stratul în stare staționară, având în vedere că vitezele de deplasare a semințelor pe masa mașinii sunt relativ mici și în consecință influența acestora asupra curgerii aerului prin strat se poate neglija. Se evidențiază faptul că în această situație se poate utiliza, cu bune rezultate, ecuația lui Ergun, de legătură între căderea de presiune ($-\Delta P$) pe grosimea stratului de semințe și viteza curentului de aer, pentru o curgere globală laminar-turbulentă prin strat. Pe această bază s-au prezentat studii de caz pentru două mașini diferite existente în practică, în condiții concrete de lucru pentru semințele de grâu și orz. Datele experimentale obținute, referitoare la căderea de presiune ($-\Delta P$) în funcție de debitul de aer al ventilatoarelor existente la aceste mașini au fost comparate cu cele evaluate prin calcul, diferențele încadrându-se în limite rezonabile (în domeniul erorilor $\pm 5\%$).

Cuvinte cheie: căderea de presiune ($-\Delta P$), stratificare, curgere globală laminar-turbulentă, viteză minimă de fluidizare

INTRODUCERE

Una din operațiile necesare de sortare a semințelor, este adesea și separarea acestora după densitatea lor. Pentru separarea după densitate a semințelor se utilizează mașinile pneumo-vibratoare, [6, 7]. Schematic, suprafețele plane de lucru ale acestor mașini care efectuează separarea sunt reprezentate în fig.1.

Prin această metodă separarea se realizează ca efect al acțiunii combinate a unui curent de aer continuu, uniform, ascendent, de presiune constantă, care străbate stratul de semințe ce se află pe o suprafață din țesătură fină sau plasă de sârmă și a vibrațiilor la care aceasta este supusă, [2, 3, 4].

Sub acțiunea curentului de aer și a agitației provocate de oscilațiile suprafeței, amestecul granular de semințe de pe suprafața de separare se afânează, particulele acestuia ajungând în stare de suspensie în curentul de aer, având loc și o stratificare după densitate a semințelor, fig.2.

Efectul de stratificare este favorizat dacă la curgerea curentului de aer prin stratul de semințe se produce o afânare a acestuia până la starea limită de fluidizare, respectiv o creștere a porozității stratului de semințe, [6]. Așa cum au arătat și cercetările experimentale, [2, 4] un rol esențial în fenomenul stratificării îl joacă circulația curentului de aer prin stratul de semințe de pe suprafața plană a mașinii pneumo-vibratoare.

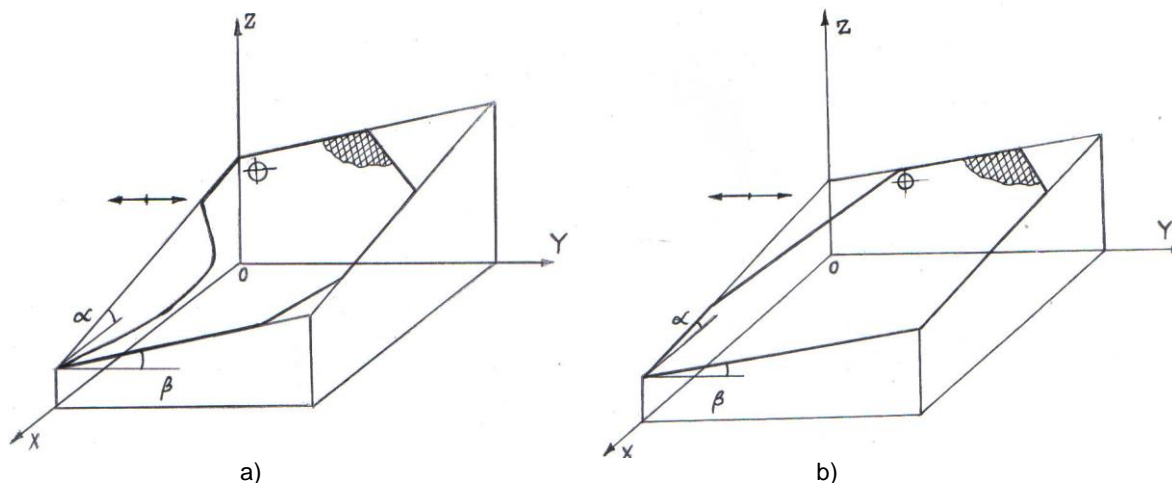


Fig.1 - Scheme of surfaces for pneumatic vibrating segregation by seeds density
 a) - scheme of wheat machine doubled inclined table
 b) - scheme of barely seeds machine double inclined table

The information furnished by specialty literature regarding the relevant theoretical aspects is quite poor. Therefore, in this thesis, appropriate mathematical models regarding the air circulation through seed layer under vibrations effect, were developed, the model with experimental data obtained on a machine in working process was tested and on this basis a theoretical study with concrete data was performed.

În literatura de specialitate informațiile referitoare la aspectele teoretice corespunzătoare sunt sărace. De aceea în această lucrare s-au dezvoltat modele matematice adecvate fenomenului circulației de aer prin stratul de semințe supus vibrațiilor, s-a testat modelul cu datele experimentale obținute la o mașină existentă în lucru și s-a efectuat, pe această bază, un studiu de caz aplicat pe datele concrete.

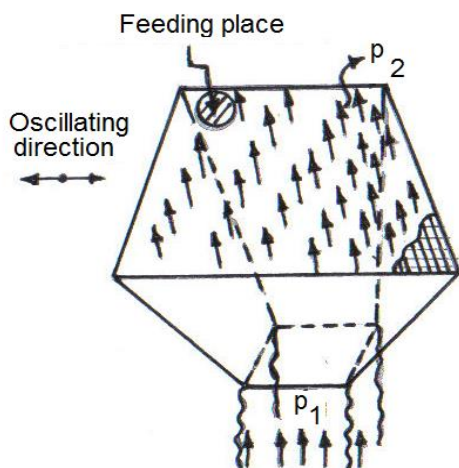


Fig 2 - Diagram of vibrating surface with one seed layer segregated by particles' density

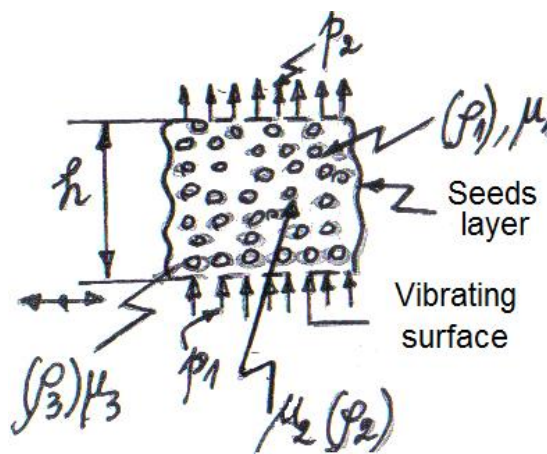


Fig. 3 - Cross section detail drawing, on seed layer's height (h) at segregation state by particles density, ($\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$)

MATERIALS AND METHODS

According to specialty literature, in order to assure the air circulation through seed layer, a pressure downfall ($-\Delta P$) on the thickness of seed layer is evaluated, as presented in fig. 2 and fig. 3.

The theoretical basis of the seed stratification due to air circulation through layer by analogy with air circulation through granular, porous, stationary bed, [6], to which is assimilated, is hereby presented.

As a consequence of stratification there is a differentiation as regards the seeds friction coefficient on the relevant supporting surfaces. Thus, the interaction between seeds is reduced and decreases towards zero, which makes motion possible within the mixing layer, on its thickness.

The heavy particles, with high density, fall to the base of the mixing layer (getting in contact with the segregation surface) and the lighter particles, with lower

MATERIALE ȘI METODE

Potrivit literaturii de specialitate pentru asigurarea circulației aerului prin stratul de semințe se apreciază necesitatea unei anumite căderi de presiune ($-\Delta P$) pe grosimea stratului, așa cum este prezentat schematic în fig. 2 și fig. 3.

Se va prezenta baza teoretică a stratificării semințelor datorată curgerii aerului prin strat, prin analogie cu fenomenul circulației aerului prin medii granulare poroase staționare, [6] cu care acesta este asimilat.

Consecința stratificării este o diferențiere a coeficientului de frecare a semințelor pe suprafețele corespunzătoare de sprijin. În acest fel se va micșora interacțiunea între particule până la anulare, ceea ce le asigură posibilitatea deplasării în interiorul stratului de amestec, pe grosimea sa.

Particulele grele, de densitate mare, coboară la baza stratului de amestec (ajungând în contact cu suprafața de separare), iar particulele mai ușoare, de densitate mai

density, move to the upper part of the layer, getting loose, with a more reduced interaction with the lower layers comparing to the one of heavy particles with segregation surface, see fig.3.

The presence of air layers between segregated lines, causes, probably, a decrease in friction coefficient value, lower values for those in the upper layer, together with particle density decrease, as in fig.3.

We will consider applicable the fluid flow theory through solid particles bed, which does not change its characteristics during process, thus representing an approximation of real case when seeds move with relative low speeds on the vibrating surface.

Therefore, we will analyze, only the fluid (air) flow through seed layer (solid particles) in stationary condition. The seed bed is considered as stationary when its characteristics remain unchanged.

During air circulation through seed layer are considered to be plausible three flow type: laminar flow, turbulent flow and global laminar turbulent flow, [5].

Out of these, the last flow is most probable. We shall present synthesized the three flow modes.

Laminar flow

The flow is laminar if air flow through existing channels within seeds bed is laminar. After making several considerations and calculations, which are to be presented in details in item [6], Fanning equation for each channel can be written as follows:

$$\frac{(-\Delta P)}{\rho_a} = \frac{64}{\text{Re}} \cdot \frac{h' \cdot v_c^2}{2 \cdot D_e} \quad (1)$$

where Reynolds number, i.e. v_c is presented in the formulae:

$$\text{Re} = \frac{\rho_a \cdot v_c \cdot D_e}{\eta} \quad (2)$$

$$v_c = v \cdot \frac{h'}{h \cdot \varepsilon} \quad (3)$$

The symbols used in these equations are as follows: ρ_a - air density; v_c - air speed through channel; v - conventional air speed through cross section equal with table surface covered with seeds; D_e - channel equivalent diameter; h' - channel length (as a rule, lower than seed layer thickness h); ε - seed layer porosity.

After making several considerations and calculations presented detailed in [1], we get final form of eq. (1):

$$v = \frac{(-\Delta P)}{\eta \cdot h} \cdot \frac{\varepsilon^3}{K''(1-\varepsilon)^2(a_{so})^2} \quad (4)$$

The equation (4) is known as Kozeny-Carman equation. where: K'' - Kozeny constant which depends on porosity and specific surface and was experimentally established, $K'' = 5 \pm 0,5$; a_{so} - specific surface of the particle, defined by a_{so} - (particle surface) / (particle volume); η - air dynamic viscosity; $(-\Delta P)$ pressure downfall on thickness layer.

Turbulent flow

If air flow through channels is the turbulent one, the Fanning equation can be applied, [5].

mică, se deplasează spre partea superioară a stratului și ies la suprafața acestuia, găsindu-se în stare afânată, cu o interacțiune mai redusă cu păturile inferioare în raport cu aceea a particulelor grele cu suprafața de separare, vezi fig.3. Existența păturilor de aer între straturile stratificate determină, probabil o scădere a coeficientului de frecare de la baza stratului spre partea lui superioară, odată cu scăderea densității particulelor, ca în fig.3.

Se va considera aplicabilă teoria curgerii fluidelor prin patul de particule solide care nu-și schimbă caracteristicile în timpul procesului, ceea ce reprezintă o aproximare a cazului real în care semințele se deplasează cu viteze, relativ mici, pe suprafața vibratoare. De aceea se va analiza numai curgerea fazei fluidului (aerului) prin stratul de semințe (particule solide) în stare staționară. Patul de semințe este considerat staționar, când caracteristicile acestuia nu variază.

La curgerea aerului prin stratul de semințe sunt plauzibile trei regimuri de curgere: curgere laminară, curgere turbulentă și curgere globală laminar-turbulentă, [5]. Dintre acestea, ultimul regim de curgere este cel mai probabil. Vom prezenta în sinteză cele trei regimuri de curgere.

Curgerea laminară

Curgerea este laminară dacă fluxul de aer prin canalele existente în patul de semințe este laminar. După o serie de considerații și calcule, prezentate în detaliu în [6], ecuația lui Fanning pentru fiecare canal poate fi pusă sub forma:

unde numărul lui Reynolds, respectiv v_c sunt prezentate în formulele:

$$\text{Re} = \frac{\rho_a \cdot v_c \cdot D_e}{\eta} \quad (2)$$

$$v_c = v \cdot \frac{h'}{h \cdot \varepsilon} \quad (3)$$

Semnificația mărimilor din aceste ecuații este: ρ_a - densitatea aerului; v_c - viteza aerului prin canal; v - viteza convențională a aerului prin secțiunea egală cu suprafața mesei acoperită cu semințe; D_e - diametrul echivalent al canalului; h' - lungimea canalului (de regulă mai mic decât grosimea h a stratului de semințe); ε - porozitatea stratului de semințe.

După o serie de considerații și calcule, prezentate în detaliu în [1], ec. (1) devine în forma finală:

$$v = \frac{(-\Delta P)}{\eta \cdot h} \cdot \frac{\varepsilon^3}{K''(1-\varepsilon)^2(a_{so})^2} \quad (4)$$

Ecuația (4) este cunoscută sub numele de ecuația Kozeny-Carman. unde: K'' - constanta lui Kozeny care depinde de porozitate și suprafața specifică și a fost găsită experimental, $K'' = 5 \pm 0,5$; a_{so} - aria specifică a particulei, definită prin a_{so} - (suprafața particulei) / (volumul particulei); η - este vâscozitatea dinamică a aerului; $(-\Delta P)$ căderea de presiune pe grosimea stratului.

Curgerea turbulentă

Dacă circulația aerului prin canale este turbulentă, se poate aplica ecuația lui Fanning, [5].

$$\frac{(-\Delta P)}{\rho_a} = 4f \cdot \frac{h' \cdot v^2 c}{2 \cdot D_e} \quad (5)$$

where: f is the friction coefficient:
In conformity with item, [5] above:

unde: f este factorul de frecare:
În conformitate cu considerațiile din, [5]:

$$D_e = \frac{4 \cdot \varepsilon}{a_{so}(1-\varepsilon)}, \quad a_{so} = \frac{6}{d_e} \quad (6)$$

Having in view the item (3), (6) above, which are included in item (5) and after making calculation, the result is:

Având în vedere relațiile (3), (6) care se includ în (5) și după efectuarea calculelor se obține:

$$\frac{(-\Delta P)}{h} = 3(K')^3 \cdot f \cdot \frac{\rho_a v^2 (1-\varepsilon)}{d_e \varepsilon^3} \quad (7)$$

where: $K' = h'/h$ is so called bed tortuosity coefficient and d_e is particle equivalent diameter. If we make notation $f' = f \cdot (K')^3$, a modified friction coefficient, then the equation (7) becomes:

unde: $K' = h'/h$ este așa numitul coeficient de tortuozitate a patului și d_e este diametrul echivalent al particulei. Dacă se notează: $f' = f \cdot (K')^3$, un factor de frecare modificat atunci ecuația (7), devine:

$$\frac{(-\Delta P)}{h} = 3f' \cdot \frac{\rho_a v^2 (1-\varepsilon)}{d_e \varepsilon^3} \quad (8)$$

This equation is known as Burke-Plummer equation and value of f' to be obtained experimentally and depends on Reynolds number, [5].

Această ecuație este cunoscută sub numele de ecuația lui Burke-Plummer, iar valoarea lui f' se obține experimental și depinde de numărul lui Reynolds, [5].

Global laminar- turbulent flow

This is the real case, most plausible, in which both flow types through seed layer exist simultaneously. The characterization of air flow is defined by Reynolds number modified for particle:

Curgerea globală laminar - turbulentă

Acesta este cazul real, cel mai plauzibil, în care sunt prezente simultan ambele regimuri de curgere al aerului prin stratul de semințe. Caracterizarea regimului de curgere se face prin numărul lui Reynolds modificat pentru particule:

$$Re_p = \frac{\rho_a \cdot v \cdot d_e}{\eta} \quad (9)$$

where v is not the real speed but conventional speed. As per item [5] data, if: $Re_p < 40$ then flow mode is laminar and for $Re_p > 40$ the flow mode is turbulent or global-turbulent. In accordance with certain considerations, detailed in item [5], it is recommended for estimations, in case of solid granular materials (seeds) the following equation to be applied:

unde v nu este viteza reală ci viteza convențională.

Conform datelor din [5], dacă: $Re_p < 40$ atunci regimul de curgere este laminar și pentru $Re_p > 40$ regimul de curgere este turbulent sau global laminar-turbulent. După unele considerații, prezentate în detaliu în [5], se recomandă pentru estimări, în cazul materialelor granulare solide (semințele) utilizarea ecuației:

$$\frac{(-\Delta P)}{h} = 150 \cdot \frac{(1-\varepsilon)^2 \eta}{\varepsilon^3 d_e^2} \cdot v + 1,75 \cdot \frac{(1-\varepsilon) \rho_a}{\varepsilon^3 d_e} \cdot v^2 \quad (10)$$

known as Ergun equation.

This equation can be used to estimate not only pressure downfall (-ΔP), at the air circulation through seed layer, independent of flow type, if all parameters on the right side of the equation can be evaluated, but also conventional speed v when pressure downfall (-ΔP) is estimated.

cunoscută sub numele de ecuația lui Ergun.

Această ecuație poate fi folosită la estimarea, atât a căderii de presiune (-ΔP), la curgerea curentului de aer prin stratul de semințe, independent de tipul curgerii, dacă toți parametrii din dreapta ecuației pot fi evaluați, cât și a vitezei convenționale v când se estimează căderea de presiune (-ΔP).

Minimum speed at fluidization

It is important to know the point when fluidization takes place, defined by minimum speed of fluidization. In this point takes place the dynamic equilibrium between weight forces (F_G) and those exerted by air (F_P) upon particles:

Viteza minimă de fluidizare

Este important de cunoscut punctul la care are loc fluidizarea, definit prin viteza minimă de fluidizare. În acest punct are loc echilibrul dinamic între forțele de greutate (F_G) și cele exercitate de aer (F_P) asupra particulelor:

$$F_G = (\rho_p - \rho_a) S \cdot h(1-\varepsilon)g \quad (11)$$

where: ρ_p - particles density; S - vibrating surface (equal to cross surface of the column having same surface); g - gravity acceleration. The force due to air pressure on the particles from layer of cross section, is:

unde: ρ_p - este densitatea particulelor; S - este aria suprafeței vibratoare (egală cu suprafața transversală a unei coloane cu această suprafață); g - accelerația gravitațională. Forța datorită presiunii aerului asupra particulelor din strat din secțiunea transversală este:

$$F_p = (-\Delta P) \cdot S \quad (12)$$

where: $(-\Delta P)$ - is pressure downfall of the air when goes through the seed layer, which depends on its flow. The minimum speed on which fluidization takes place, corresponds to the equality between the two forces, $F_G = F_P$ and resulting:

$$\frac{(-\Delta P)}{h} = (\rho_p - \rho_a)(1 - \varepsilon)g \quad (13)$$

and for pressure downfall Ergun equation to be applied (10), resulting the below equation:

$$(\rho_p - \rho_a)(1 - \varepsilon)g = 150 \cdot \frac{(1 - \varepsilon)^2 \eta}{\varepsilon^3 d_e^2} v_m + 1,75 \cdot \frac{(1 - \varepsilon) \rho_a}{\varepsilon^3 d_e} v_m^2 \quad (14)$$

where: v_m - minimum speed at fluidization.

It is correct to apply the equation (14) if the particles Reynolds number from equation (9) meet the requirement of turbulent flow, $Re_p > 40$, [5]. On the basis of these equations, with practical data for wheat and barley seeds, the values of pressure downfall and air speed under different working conditions will be evaluated, on theoretical studies, applicable to the two types of machines existing in practice.

RESULTS

Theoretical study

Theoretical study will make reference to the estimation of conventional air speed under seed layer not only for wheat seeds but for barley seeds, in the segregation process by density and compare them to the customary values utilized in practice for Cimbria Gravity Separator GA71 machine, for wheat seeds, and Jubus MJ-S 120 machine, for barley seeds.

In order to evaluate the pressure downfall and air speed under different working conditions we will refer to the Glosa species of native wheat seeds, crop of year 2011 and 2012 selected by densitometry machine Gravity Separator with an active vibrating surface of $S = 1.5 \text{ m}^2$, [1].

During our experimental studies, the wheat seeds layer during the machine working process had a height, experimentally measured by us, $h = 25 \text{ mm}$ in a loose condition having a porosity greater than the one when air does not circulate through system. In repose condition, the wheat seeds porosity was $\varepsilon = 0.35 - 0,4$.

It was taken into account the sphericity coefficient (for shape), $\psi = 0.85$, [5]. On the basis of the known formula, the equivalent diameter of wheat seeds is, [1]: $d_e = \psi (6/\pi)^{1/3} (m_p/\rho_p)^{1/3}$ where: m_p - seeds mass (0.04 g - average value); ρ_p - seeds density (1,25 g/cm³ - average value), after making calculations we get $d_e = 3.35 \text{ mm}$, [1].

Also, it was taken into account for pressure downfall $(-\Delta P)$ the average value experimentally determined, [4] of: $(-\Delta P) = 7.5 \text{ mm H}_2\text{O} = 73.5 \text{ Pa}$, for air density and dynamic viscosity under normal conditions ($t = 20^\circ \text{C}$ and atmospheric pressure 760 mm. Hg.col.), $\rho_a = 1.21 \text{ kg/m}^3$ and $\eta = 2.12 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, [2].

Substituting above data in Ergun equation (10) and making calculation, we obtain the second order equation in v : $v^2 + 0,269v - 0,496 = 0$, valid for a positive result of equation only, for air speed under seed layer $v = 0.58 \text{ m/s}$. The regime of air circulation against particles is checked and Reynolds number modified with eq.(9) is calculated. The result is, $Re_p = 111$, $Re_p > 40$, thus means that the air flow is turbulent, and the utilization of

unde: $(-\Delta P)$ - este căderea de presiune a aerului la trecerea prin stratul de semințe, care depinde de curgerea acestuia. Viteza minimă la care are loc fluidizarea, corespunde egalității între cele două forțe, $F_G = F_P$, de unde rezultă:

iar pentru căderea de presiune se folosește ecuația lui Ergun (10), obținându-se ecuația

unde: v_m - este viteza minimă la fluidizare.

Utilizarea ecuației (14) este corectă dacă numărul lui Reynolds pentru particule din ecuația (9) satisface cerința curgerii turbulente, $Re_p > 40$, [5]. Pe baza acestor ecuații, cu date practice pentru semințele de grâu și orz, vor fi evaluate, pe studii de caz, cu aplicație la două tipuri de mașini existente în practică, valorile căderilor de presiune și vitezelor curentului de aer în diferite condiții de lucru.

REZULTATE

Studiul de caz

Studiul de caz se va referi la evaluările vitezelor convenționale ale aerului sub stratul de semințe, atât pentru semințele de grâu cât și pentru semințele de orz, în cazul procesului de separare după densitate și compararea acestora cu valorile uzuale utilizate în practică în cazul mașinii Cimbria Gravity Separator GA71, utilizată pentru semințele de grâu, iar pentru semințele de orz mașina Jubus MJ-S 120.

Pentru evaluarea căderilor de presiune și a vitezelor curentului de aer în diferite condiții de lucru ne vom referi la semințele de grâu din soiul autohton Glosa, din producția anului 2011 și 2012 sortate cu mașina densimetrică Cimbria Gravity Separator având o suprafață vibratoare activă $S = 1,5 \text{ m}^2$, [1].

La experimentările noastre stratul de semințe de grâu în timpul lucrului mașinii avea o înălțime măsurată experimental de noi, $h = 25 \text{ mm}$ într-o stare afânată cu o porozitate mai mare ca aceea când aerul nu circulă prin sistem. În starea de repaus, porozitatea semințelor de grâu a fost $\varepsilon = 0,35 - 0,4$.

S-a considerat coeficientul de sfericitate (de formă), $\psi = 0,85$, [5]. Diametrul echivalent al semințelor de grâu este, pe baza relației cunoscute, [1]: $d_e = \psi (6/\pi)^{1/3} (m_p/\rho_p)^{1/3}$ unde: m_p - masa seminței (0,04 g - valoare medie); ρ_p - densitatea seminței (1,25 g/cm³ - valoare medie), după efectuarea calculelor a rezultat $d_e = 3,35 \text{ mm}$, [1].

De asemenea s-a considerat pentru căderea de presiune $(-\Delta P)$ valoarea medie determinată experimental, [4] de: $(\Delta P) = 7,5 \text{ mm H}_2\text{O} = 73,5 \text{ Pa}$, pentru densitatea aerului și vâscozitatea dinamică în condiții normale ($t = 20^\circ \text{C}$ și presiunea atmosferică 760 mm. col. Hg), $\rho_a = 1,21 \text{ kg/m}^3$ și $\eta = 2,12 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, [2].

Înlocuind datele de mai sus în ec. lui Ergun (10) și efectuând calculele rezultă ecuația numerică de gradul II în v : $v^2 + 0,269v - 0,496 = 0$, valabilă numai soluția pozitivă a ecuației pentru viteza aerului sub stratul de semințe $v = 0,58 \text{ m/s}$. Se verifică regimul de curgere al aerului față de particule, calculându-se numărul lui Reynolds modificat cu ec.(9). Se obține, $Re_p = 111$, $Re_p >$

Ergun equation is completely justified.

In conformity with technical description of the machine $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$, $S_a = 1.5 \text{ m}^2$ the conventional speed used during machine working process is $v=Q/S_a=0.67 \text{ m/s}$, which means a deviation from estimated speed of Ergun equation (0.58 m/s), of (-13.4%), such value being accepted in technical conditions.

Also, during machine working process the pressure downfall was measured by piezometric method by means of a glass pipe, connected to machine, as shown in [1], resulting the value ($-\Delta P=10 \text{ mm col.H}_2\text{O}$). The pipe was filled with distilled water at the environment temperature and the pressure downfall represents the gauge difference after reading on the paper, attached to the latch plate, [1]. The value experimentally determined is 10 mm col.H₂O as against those evaluated by calculation 9.51 mm col.H₂O.

Using Ergun equation (10) for value of air flow speed during machine working process ($v = 0.67 \text{ m/s}$) and for the values of the above mentioned parameters for wheat, after making calculation we obtain ($-\Delta P$)=93.2 Pa. In this case, the estimated error between calculated value and measured value is 4.9 %, such deviation justifies the validity of Ergun equation.

Also, the pressure downfall and air flow speed were evaluated for barley seeds, separated by gravity machine Jubus MJ-S 120, with an active surface $S_a = 3.36 \text{ m}^2$ [6], this machine is used in practice in Constanta country. During experimental studies, have been used Maresal species of native barley seeds, from Constanta country, from 2011 crop.

During experimental studies, the barley layer had a height experimentally measured by us $h = 25 \text{ mm}$, at a porosity $\epsilon = 0.45$, [1], seeds average dimensions being $l = 10\text{mm}$, $b = 3.5\text{mm}$, $c = 3\text{mm}$ where: l , b , c (length, width, and thickness of barley seed). For barley designed to sowing, it is necessary to sort seeds by their density in order to obtain the most vigorous material.

Drawing an analogy between the shape of barley seeds and an oblate spheroid, with length l , big semi axis $x=l/2=5\text{mm}$ and small semi axis: $y = (b+c)/4 = 1.625\text{mm}$, and making relevant calculations we obtain a sphericity coefficient $\psi=0.839$, [1] and the equivalent diameter of barley seeds is, on the basis of the known formula, [1]: $d_e = \psi (6/\pi)^{1/3}(m_p/\rho_p)^{1/3}$ where: m_p - seed mass (0.05 g - average value); ρ_p - seed density (1.3 g/cm³ - average value), after making calculation: $d_e=3.51 \text{ mm}$, [1].

Input these data into Ergun equation (10), and considering pressure downfall ($-\Delta P$)=7.5mm H₂O=73.5Pa, and for air density and dynamic viscosity under normal conditions ($t=20^\circ\text{C}$ and atmospheric pressure 760 mm. Hg col), $\rho_a=1.21\text{kg/m}^3$ and $\eta=2.12 \cdot 10^{-5}\text{Pa}\cdot\text{s}$, [2], after making calculations we obtain the second order equation in v : $v^2+0.235v-0.807=0$, valid for the positive result for air speed under the seed layer, only $v=0.79\text{m/s}$. The regime of air flow against particles is checked and Reynolds number modified with eq.(9) can be calculated. The result is, $Re_p=158$ ($Re_p > 40$) that means the air flow is turbulent, the utilization of Ergun equation is completely justified.

This value of the speed allows to estimate the flow of machine's fan during working process, $Q=v\cdot S_a$, obtaining $Q=0.79\cdot 3.36=2.654\text{m}^3/\text{s}$, such value being used to make an initial adjustment of the machine.

40, circulația aerului fiind turbulentă, ceea ce justifică utilizarea ec. Ergun.

Din datele tehnice ale mașinii $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$, $S_a = 1,5 \text{ m}^2$ rezultă viteza convențională utilizată în timpul lucrului mașinii de $v=Q/S_a=0,67 \text{ m/s}$, ceea ce înseamnă o abatere față de viteza estimată din ecuația lui Ergun (0,58 m/s), de (-13,4 %), valoare acceptată în condiții tehnice.

De asemenea s-a procedat la măsurarea căderii de presiune în timpul lucrului mașinii, prin metoda piezometrică cu ajutorul unui tub din sticlă, conectat la mașină, așa cum se arată în [1], obținându-se valoarea ($-\Delta P = 10 \text{ mm col.H}_2\text{O}$). În tub s-a introdus apă distilată la temperatura mediului iar căderea de presiune reprezintă diferența de nivel ce s-a citit pe hârtia milimetrică, atașată plăcii de sprijin, [1]. Valoarea determinată experimental este de 10 mm col. H₂O față de cea evaluată prin calcul de 9,51 mm col. H₂O.

Utilizând ec. lui Ergun (10) pentru valoarea vitezei curentului de aer din timpul lucrului mașinii ($v = 0,67 \text{ m/s}$) și pentru valorile parametrilor specificați anterior în cazul grâului, după efectuarea calculelor se obține ($-\Delta P$)=93,2 Pa. În acest caz eroarea estimată pentru calcul față de valoarea măsurată, obținută este de 4,9 %, eroare ce justifică valabilitatea aplicabilității ec. lui Ergun în acest caz.

De asemenea au fost evaluate căderile de presiune și viteza curentului de aer, în cazul semințelor de orz, sortate cu mașina densimetrică Jubus MJ-S 120, având o suprafață activă $S_a = 3,36 \text{ m}^2$ [6], utilizată în practică în cadrul jud. Constanța. La încercările experimentale s-au folosit semințe de orz soiul autohton Mareșal, din jud. Constanța din producția anului 2011.

În timpul experimentărilor stratul de semințe de orz avea o înălțime măsurată experimental de noi de $h = 25 \text{ mm}$, la o porozitate $\epsilon = 0,45$, [1], dimensiunile medii ale semințelor fiind $l = 10\text{mm}$, $b = 3,5\text{mm}$, $c = 3\text{mm}$ unde: l , b , c (lungimea, lățimea, grosimea seminței de orz). Pentru orzul destinat însămânțării este necesară o separare după densitate a semințelor pentru obținerea fracției cu semințele cele mai viguroase.

Asimilându-se forma reală a semințelor de orz cu un elipsoid de revoluție, cu lungimea l , semi-axa mare $x=l/2=5\text{mm}$ și semi-axa mică: $y = (b+c)/4 = 1,625\text{mm}$, efectuând calculele se obține un coeficient de sfericitate $\psi=0,839$, [1] și diametrul echivalent al semințelor de orz este, pe baza relației cunoscute, [1]: $d_e = \psi (6/\pi)^{1/3}(m_p/\rho_p)^{1/3}$ unde: m_p - masa seminței (0,05 g - valoare medie); ρ_p - densitatea seminței (1,3 g/cm³ - valoare medie), după efectuarea calculelor va fi: $d_e = 3,51 \text{ mm}$, [1].

Cu aceste date introduse în ecuația lui Ergun (10), și considerând căderea de presiune ($-\Delta P$)=7,5mm H₂O=73,5Pa, iar pentru densitatea aerului și vâscozitatea dinamică în condiții normale ($t=20^\circ\text{C}$ și presiunea atmosferică 760 mm.col. Hg), $\rho_a=1,21\text{kg/m}^3$ și $\eta=2,12 \cdot 10^{-5}\text{Pa}\cdot\text{s}$, [2], după efectuarea calculelor se obține ecuația numerică de gradul II în v : $v^2+0,235v-0,807=0$, valabilă numai soluția pozitivă a ecuației pentru viteza aerului sub stratul de semințe $v=0,79\text{m/s}$. Se verifică regimul de curgere al aerului față de particule, calculându-se numărul lui Reynolds modificat cu ec.(9). Se obține, $Re_p=158$ ($Re_p > 40$) care arată că circulația aerului este turbulentă, deci ceea ce justifică utilizarea ec. Ergun.

Această valoare a vitezei permite, estimarea debitului ventilatorului mașinii, în timpul lucrului, $Q=v\cdot S_a$, obținându-se $Q=0,79\cdot 3,36=2,654\text{m}^3/\text{s}$, valoare utilizată pentru efectuarea unui reglaj inițial al mașinii.

CONCLUSIONS

This thesis states that stratification effect is enabled if during air flow circulation through seed layer, the seed layer will get loose up to fluidization level, respectively an increase of layer porosity and surface vibrations which are conveyed to the layer of seeds.

Also, it is emphasized the important part in elaborating the technological separation flow within the machine of pressure downfall ($-\Delta P$) on the layer thickness which allows the air flow circulation through porous bed, and, respectively the air speed circulation.

During seeds segregation process by density with pneumatic vibrating machines, the vibrating motion of the planned double inclined surface of the machine plays an important role together with vertical air flow circulation through seed layer on the surface which has a stratification effect.

It was developed a mathematical model of the air flow going through seeds vibrating layer on the basis of theory of analogy between this and flowing through bed of solid particles in stationary condition, considering that under real condition, the particles (seeds) movements take place with a speed, relatively low, on the vibrating surface.

Data are useful for the real case of air flow going through seed layer which is global laminar turbulent flow where the two flow modes exist simultaneously; thus allows Ergun's equation (eq.10) to be applied in order to create a link between pressure downfall ($-\Delta P$) and the speed of air flow through layer seeds.

Mathematical model of the air flow circulation through vibrating seed layer, in the form of Ergun (ec.10) equation, was applied for concrete situation in two theoretical studies, and the estimated values for pressure downfall ($-\Delta P$), have been compared to experimental data obtained through measurements, and they were highly satisfactory.

Both values of conventional speed ($v=0.58$ m/s) obtained for air circulation under layer of wheat seed with thickness $h=25$ mm, porosity $\varepsilon=0.4$ which is plausible, and experimental confirmation of value of estimated pressure downfall ($-\Delta P$), allow us to appreciate that we can use the Ergun equation with good results not only to determine speed v and consequently the fan's rate flow if the pressure downfall is known, but also for evaluate pressure downfall ($-\Delta P$) if speed v is known (from fan's rate flow formula).

Also, the value of speed ($v=0.79$ m/s) for air circulation under barley seed layer with thickness $h=25$ mm and a porosity $\varepsilon = 0.45$ is plausible, being one more proof that Ergun equation can be utilized with good results, to evaluate not only the speed v but also the pressure downfall ($-\Delta P$) for various situation arisen during working process of machine in discussion.

These data are very useful for research and engineering activities in the field of pneumatic-vibrating machines for sorting seeds by density and also contribute to enrich the bank of scientific data in this domain.

REFERENCES

- [1]. Buciuman F.V. (2013) - *Contribution to optimization of selection, cleaning and segregation systems for grains*, Doctorate thesis, Bucharest PU; Bucharest, Romania;
- [2]. Cășandroi T. (1993) - *Machinery for initial processing and preserving the agricultural products*, Course, vol. 1, Bucharest Politechnic University,

CONCLUZII

În această lucrare se constată că efectul de stratificare este favorizat dacă la curgerea curentului de aer prin stratul de semințe se produce o afânare a acestuia până la starea limită de fluidizare, respectiv o creștere a porozității stratului și de vibrația suprafeței transmisă și ea stratului de semințe.

De asemenea, se evidențiază rolul fundamental în elaborarea fluxului tehnologic de separare optim în interiorul mașinii, a căderii de presiune ($-\Delta P$), pe grosimea stratului de semințe care asigură circulația aerului prin patul poros cu care acesta este asimilat și respectiv a vitezei de circulație a aerului.

În procesul separării semințelor după densitate cu ajutorul mașinilor pneumo-vibratoare un rol însemnat îl are, pe lângă mișcarea vibratorie a suprafeței plane dublu înclinate a mașinii și circulația curentului de aer vertical ascendent prin stratul de semințe de pe suprafață, cu efect de stratificare.

S-a dezvoltat modelul matematic al curgerii aerului prin stratul de semințe vibrator pe baza ipotezei analogiei între aceasta și curgerea prin patul de particule solide în stare staționară, considerându-se că în starea reală deplasările particulelor (semințelor) au loc cu viteze relativ mici, pe suprafața vibratoare.

Curgerea globală laminar-turbulentă este cazul real de curgere a aerului prin stratul de semințe în care sunt prezente simultan ambele regimuri de curgere ceea ce a permis utilizarea ecuației lui Ergun (10) pentru legătura între căderea de presiune ($-\Delta P$) și viteza convențională a curentului de aer prin semințele din strat.

Modelul matematic al curgerii aerului prin stratul de semințe vibrator sub forma ecuației lui Ergun (ec.10) a fost utilizat în situații concrete în două studii de caz, comparându-se valorile estimate pentru căderea de presiune ($-\Delta P$), cu datele experimentale obținute la măsurători, care au dat deplină satisfacție.

Atât valoarea vitezei convenționale ($v=0,58$ m/s) obținută pentru circulația aerului sub stratul de semințe de grâu de grosime $h=25$ mm și o porozitate $\varepsilon=0,4$ care este plauzibilă, cât și confirmarea experimentală a valorii estimate a căderii de presiune ($-\Delta P$), ne permit să apreciem că se poate utiliza cu bune rezultate ecuația lui Ergun fie pentru determinarea vitezei v și de aici a debitului ventilatorului dacă se știe căderea de presiune ($-\Delta P$), fie pentru evaluarea căderii de presiune ($-\Delta P$), dacă se cunoaște viteza v (din cunoașterea debitului respectiv al ventilatorului).

De asemenea valoarea vitezei ($v=0,79$ m/s) obținută pentru circulația aerului sub stratul semințelor de orz de grosime $h=25$ mm și o porozitate $\varepsilon=0,45$ este plauzibilă, încă o dovadă că se poate utiliza cu bune rezultate ecuația lui Ergun la evaluări fie ale vitezei v , fie ale căderii de presiune ($-\Delta P$), pentru diferitele situații posibile în timpul lucrului mașinilor considerate.

Aceste date sunt utile în activitățile de cercetare și ingineresti din sfera mașinilor pneumo-vibratoare pentru separare densimetrică a semințelor contribuind la îmbogățirea băncii de informații științifice din acest domeniu.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. Buciuman F.V. (2013) - *Contribuții privind optimizarea sistemelor de sortare, curățire și separare a materialelor agricole*, Teză de doctorat, Universitatea Politehnică București, București, România;
- [2]. Cășandroi T. (1993) - *Utilaje pentru prelucrarea primară și păstrarea produselor agricole*, Curs, vol. 1, Universitatea Politehnică București, București, România;

[3]. Căsăndroiu T. (1976) - *Laboratory guide for sorting, conditioning machines and primary work of the agricultural products*, Bucharest PI;

[4]. Iaremenco M.K. (1952) - *The study of pneumatic segregation table* - The Study of Scientific Research for Agricultural Mechanization - Volume 17, Moscow;

[5]. Ibartz A., Gustavo V. Barbosa - Canovas (2003) - *Unit Operations in Food Engineering, Circulation of Fluid through Porous Beds: Fluidization*, CRC Press, Publishing House, pg. 205-235;

[6]. *** - *Prospects, Manual of Instruction: Densimetric Machine Jubus M-JS-30/120*;

[7]. *** - www.cimbria.com *Cimbria Gravity Separator GA71*.

[3]. Căsăndroiu T. (1976) - *Îndrumar de laborator pentru mașini de sortat, condiționat și prelucrarea primară a produselor agricole*, IPB, București;

[4]. Iaremenco M.K. (1952) - *Studiul mesei pneumatice de sortare* - *Lucrea Institutului de Cercetari Stiintifice de Mecanizare a Agriculturii - Volumul 17, Moscova*;

[5]. Ibartz A., Gustavo V. Barbosa - Canovas (2003) - *Aparatură pentru industria alimentară, Circulația fluidului prin paturi poroase: fluidizare*, Editura CRC Press, pag.205-235;

[6]. *** *Prospecte, Manual de instrucțiuni: Mașina densimetrică Jubus M-JS-30/120*;

[7]. *** - www.cimbria.com *Cimbria Gravity Separator GA71*.