

УДК. 631.362.3.004.1

DOI: 10.31388/2078-0877-19-4-59-69

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ШВИДКОСТІ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ У ПНЕВМОСЕПАРАЦІЙНІЙ КАМЕРІ ПНЕВМОРЕШІТНОГО СЕПАРАТОРА

Михайлов Є. В., д.т.н.,

Задосна Н. О., інж.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

Рубцов М. О., к.т.н.

*Мелітопольський державний педагогічний університет
ім. Б. Хмельницького*

Тел. (0619) 42-12-65

Анотація – в роботі представлено теоретичне дослідження залежності максимальної швидкості повітряного потоку у пневмосепараційній камері пневморешітного сепаратора від частоти обертання ротора вентилятора. Насіннєвий ворох соняшнику та зерна, що надходить з бункера комбайну, в більшості випадків має підвищену вологість і містить значну кількість домішок. На початковому етапі очистки найбільш часто поділ складових вороха насіння соняшнику та зернових відбувається з урахуванням його аеродинамічних властивостей та особисто критичних швидкостей вітання. Високопродуктивні машини попереднього очищення зерна, як правило, використовують принцип поділу частинок в повітряному потоці. Незважаючи на широке використання явища руху матеріальних частинок в сучасних зерноочисних машинах, пов'язаних з сепарацією складових зернового вороху, кількісні закономірності руху тіл з урахуванням опору повітряного середовища і сьогодні потребують досліджень. Нами розроблено пневморешітний сепаратор (ПРС) із замкнутою повітряною системою, в якому шляхом установки пневмосепаруючої і осадової камер зі складною геометричною поверхнею, з'єднаних всмоктуючим каналом з діаметральним вентилятором, створено замкнуту повітряну систему. Це забезпечує поліпшення процесу виділення легких домішок, зменшення енергоємності пневмосепарації і забрудненості довкілля. Метою досліджень є підвищення ефективності попередньої очистки сільськогосподарських культур за рахунок теоретичного обґрунтування швидкості повітряного потоку у пневмосепараційній камері пневморешітного сепаратора. На підставі результатів розрахунків представлені графічні залежності

максимальної швидкості повітряного потоку в пневмосепараційній камері від частоти обертання ротора вентилятора, отримані експериментально та теоретичним шляхом. Новизна полягає в тому, що вперше отримані залежності максимальної швидкості повітряного потоку в пневмосепараційній камері ПРС від частоти обертання ротора вентилятора на підставі теоретичного та експериментального аналізів. Ці залежності дозволяють робити розрахунки в будь-яких проміжних точках визначеного діапазону розглядуваного процесу.

Ключові слова – пневмосепараційна камера, частота обертання ротора вентилятора, швидкість повітряного потоку.

Постановка проблеми. Насінневий ворох соняшнику та зерна, що надходить з бункера комбайну, в більшості випадків має підвищену вологість і містить значну кількість домішок [1, 2]. Здавати таке насіння на приймальні пункти або олійні заводи недоцільно, що вимагає їх обов'язкового попереднього очищення, сушки, так як в іншому випадку це призводить до самозігрівання, псування, розвитку шкідників і хвороб, підвищення кислотності, на усунення чого потрібні значні витрати [3].

На початковому етапі очистки найбільш часто поділ складових вороха насіння соняшнику та зернових відбувається з урахуванням його аеродинамічних властивостей та особисто критичних швидкостей вітання. Високопродуктивні машини попереднього очищення зерна, як правило, використовують принцип поділу частинок в повітряному потоці [4, 5, 6]. Незважаючи на широке використання явища руху матеріальних частинок в сучасних зерноочисних машинах, пов'язаних з сепарацією складових зернового вороху, кількісні закономірності руху тіл з урахуванням опору повітряного середовища і сьогодні потребують досліджень [7, 8, 9].

Аналіз останніх досліджень. Нами розроблено пневморешітний сепаратор (ПРС) із замкнутою повітряною системою, в якому шляхом установки пневмосепаруючої і осадової камер зі складною геометричною поверхнею, з'єднаних всмоктуючим каналом з діаметральним вентилятором, створено замкнуту повітряну систему. Це забезпечує поліпшення процесу виділення легких домішок, зменшення енергоємності пневмосепарації і забрудненості доквілля [6].

Для встановлення та визначення параметрів і режимів роботи ПРС обґрунтовано його технологічна схема (Рис.1).

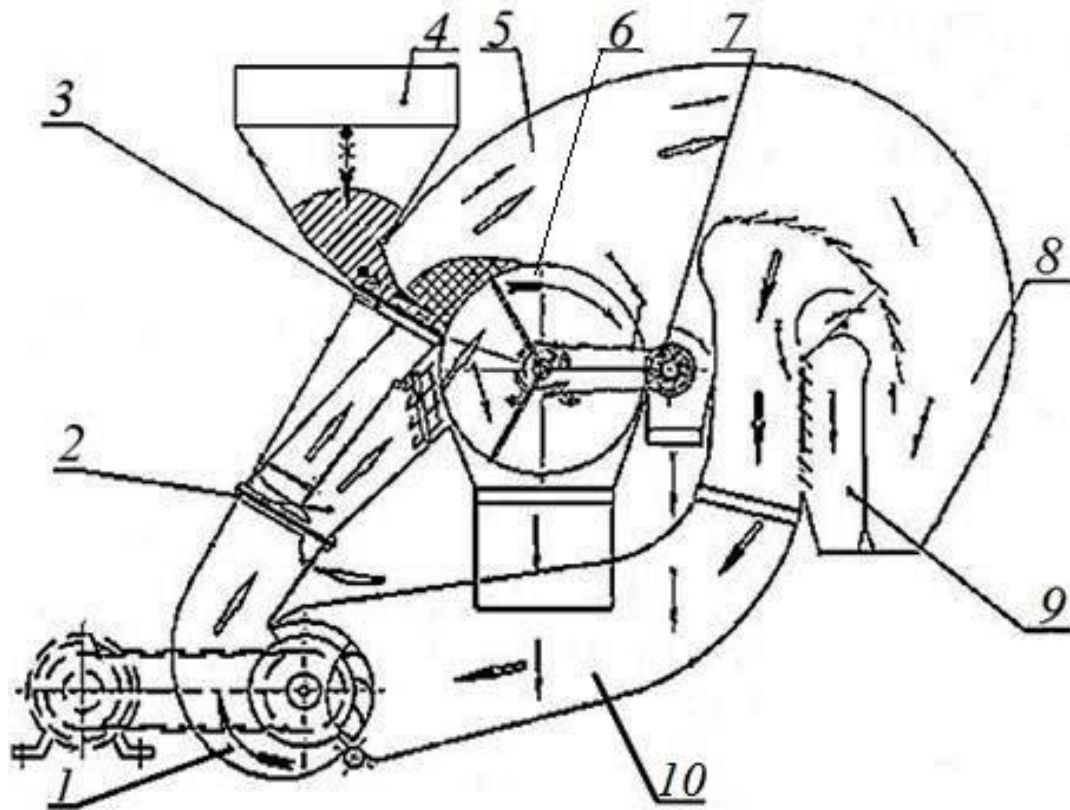


Рис. 1. Схема технологічна ПРС із замкненою повітряною системою 1 – вентилятор діаметральний; 2 – жалюзійний повітрярозподільник; 3 – лоток-інтенсифікатор; 4 – бункер; 5 – пневмосепараційна камера; 6 – решето циліндричне; 7 – очищувач щітковий; 8 – осадова камера 1-го ступеня очищення; 9 – осадова камера 2-го ступеня очищення; 10 – всмоктувальний канал вентилятора.

Попередні дослідження аналога пневморешітного сепаратора у виробничих умовах визначили необхідність вирішення наукової задачі – удосконалення параметрів та режимів роботи повітрярозподільника пневморешітного сепаратора.

Мета дослідження. Підвищення ефективності попередньої очистки сільськогосподарських культур за рахунок теоретичного обґрунтування швидкості повітряного потоку у пневмосепараційній камері пневморешітного сепаратора.

Основна частина. Для отримання залежності максимальної швидкості повітряного потоку V в пневмосепараційній камері пневморешітного сепаратора від частоти обертання ротора вентилятора n , яка дозволить робити розрахунки в будь-яких проміжних точках визначеного діапазону розглядуваного процесу теоретичним шляхом використовуємо наступний алгоритм.

Спочатку розглянемо деякі загальні положення для обробки експериментальних даних, які після проведення експерименту отримав дослідник. Ці дані представлені таблицею 1.

Таблиця 1 – Дані з деякими залежностями змінних

x	x_1	x_2	\dots	x_n
y	y_1	y_2	\dots	y_n

За таблицею 1 можна виявити тенденції залежності змінних, але для подальшого їх використання потрібно мати аналітичні вирази цих залежностей.

Розглянемо формули, які найбільш часто використовуються по рекомендаціям [10].

$$1) y = ax + b; \quad 2) y = a \cdot x^b; \quad 3) y = a \cdot b^x; \quad 4) y = a + \frac{b}{x};$$

$$5) y = \frac{1}{ax + b}; \quad 6) y = \frac{x}{ax + b}; \quad 7) y = a \cdot \ln x + b \quad (1)$$

За тими ж дослідженнями [10] найпростіші необхідні умови для наявності емпіричних залежностей можна отримати з таблиці 2.

Цей підхід є грубо орієнтованим, оскільки при встановленні емпіричної залежності не враховуються проміжні дані. Якщо значення $\varphi(x_1, \bar{x}_n) = x_s$ не знаходиться серед даних x_i , то відповідні їй значення можна визначити шляхом лінійної інтерполяції

$$y_s = y_i + \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} (\bar{x}_s - x_i),$$

де x_i і x_{i+1} – проміжні значення, між якими міститься \bar{x}_s ($x_i < \bar{x}_s < x_{i+1}$).

Вибір формули здійснюється за умовою $|y_s - \bar{y}_s| \rightarrow \min$.

Коефіцієнти отриманої формули визначаємо за методом найменших квадратів.

Залежність максимальної швидкості повітряного потоку V в пневмосепараційній камері від частоти обертання ротора вентилятора n , наведені в таблиці 3.

Таблиця 2 – Найпростіші необхідні умови для отримання емпіричних залежностей

№	\bar{x}_s	\bar{y}_s	Вид емпіричної формули	Спосіб вирівнювання
1	$\frac{x_1 + x_n}{2}$ (середнє арифметичне)	$\frac{y_1 + y_n}{2}$ (середнє арифметичне)	$y = ax + b$	–
2	$\sqrt{x_1 x_n}$ (середнє геометричне)	$\sqrt{y_1 y_n}$ (середнє геометричне)	$y = ax^b$	$Y = \alpha + bX$, де $X = \lg x$, $Y = \lg y$, $\alpha = \lg a$
3	$\frac{x_1 + x_n}{2}$ (середнє арифметичне)	$\sqrt{y_1 y_n}$ (середнє геометричне)	$y = ab^x$ або $y = ae^{\beta x}$, де $\beta = \ln b$	$Y = \alpha + \beta x$, де $Y = \lg y$, $\alpha = \lg a$, $\beta = \lg b$
4	$\frac{2x_1 x_n}{x_1 + x_n}$ (середнє гармонічне)	$\frac{y_1 + y_n}{2}$ (середнє арифметичне)	$y = a + \frac{b}{x}$	$Y = ax + b$, де $Y = xy$
5	$\frac{x_1 + x_n}{2}$ (середнє арифметичне)	$\frac{2y_1 y_n}{y_1 + y_n}$ (середнє гармонічне)	$y = \frac{1}{ax + b}$	$Y = ax + b$, де $Y = \frac{1}{y}$
6	$\frac{2x_1 x_n}{x_1 + x_n}$ (середнє гармонічне)	$\frac{2y_1 y_n}{y_1 + y_n}$ (середнє гармонічне)	$y = \frac{x}{ax + b}$	$Y = ax + b$, де $Y = \frac{x}{y}$
7	$\sqrt{x_1 x_n}$ (середнє геометричне)	$\frac{y_1 + y_n}{2}$ (середнє арифметичне)	$y = a \cdot \ln x + b$	$Y = aX + b$, де $X = \lg x$

Таблиця 3 – Залежність максимальної швидкості повітряного потоку V в пневмосепараційній камері від частоти обертання ротора вентиляторів

№ п/п	1	2	3	4	5
-------	---	---	---	---	---

n , об.хв ⁻¹	300	400	500	600	700
V , м/с	2,4	2,95	3,81	4,61	5,77

Встановимо емпіричні залежності отриманих експериментальних даних, проаналізуємо їх.

Для встановлення емпіричної залежності будемо використовувати розрахункову таблицю 4.

Таблиця 4 – Розрахункова таблиця необхідних умов для отримання емпіричних залежностей

№	\bar{x}_s	\bar{y}_s	y_s	$ y_s - \bar{y}_s $	Вид формули
1	$\frac{x_1 + x_n}{2} = 500$	$\frac{y_1 + y_n}{2} = 4,09$	3,81	0,28	$y = ax + b$ – мало підходить
2	$\sqrt{x_1 x_n} = 458,26$	$\sqrt{y_1 y_n} = 3,72$	3,45	0,27	$y = ax^b$ мало підходить
3	$\frac{x_1 + x_n}{2} = 500$	$\sqrt{y_1 y_n} = 3,72$	3,81	0,09	$y = ab^x$ – підходить краще інших формул
4	$\frac{2x_1 x_n}{x_1 + x_n} = 420$	$\frac{y_1 + y_n}{2} = 4,09$	3,17	0,92	$y = a + \frac{b}{x}$ – не підходить
5	$\frac{x_1 + x_n}{2} = 500$	$\frac{2y_1 y_n}{y_1 + y_n} = 3,39$	3,81	0,42	$y = \frac{1}{ax + b}$ – не підходить
6	$\frac{2x_1 x_n}{x_1 + x_n} = 420$	$\frac{2y_1 y_n}{y_1 + y_n} = 3,39$	3,12	0,27	$y = \frac{x}{ax + b}$ – мало підходить
7	$\sqrt{x_1 x_n} = 458,26$	$\frac{y_1 + y_n}{2} = 4,09$	3,48	0,61	$y = a \cdot \ln x + b$ – не підходить

Отже, емпіричною формулою залежності коефіцієнта максимальної швидкості повітряного потоку V в пневмосепараційній камері від частоти обертання ротора вентилятора $n \in y = a \cdot b^x$. Коефіцієнти a і b отримаємо за методом найменших квадратів.

$$y = a \cdot b^x; \ln y = \ln(a \cdot b^x); \ln y = \ln a + x \ln b. \quad (2)$$

Позначаючи $Y = \ln y$, $B = \ln b$; $X = x$; $A = \ln a$ матимемо рівняння $Y = A + BX$.

Потрібно мінімізувати отриману функцію

$$S(A, B) = (Y_i - A - BX_i)^2 \rightarrow \min. \quad (3)$$

Для цього потрібно розв'язати систему

$$\begin{cases} A \sum n + B \sum X_i = \sum Y_i, \\ A \sum X_i + B \sum X_i^2 = \sum X_i Y_i. \end{cases} \quad (4)$$

Складемо розрахункову таблицю 5

Таблиця 5 – Розрахункова таблиця

	№	$X_i = x_i$	$Y_i = \ln y_i$	X_i^2	$X_i Y_i$
	1	300	0,875	90000	262,5
	1	400	1,082	160000	432,8
	1	500	1,338	250000	669,0
	1	600	1,528	360000	916,8
	1	700	1,753	490000	1227,1
Σ	5	2500	6,576	1350000	3508,2

Тепер з системи (4) після підстановки даних з таблиці 5, матимемо:

$$\begin{cases} 5A + 2500B = 6,576; \\ 2500A + 1350000B = 3508,2. \end{cases} \quad (5)$$

Отримали коефіцієнти $A = 0,2142$, $B = 0,002202$.

Тоді формула матиме вигляд:

$$V = e^{0,2142+0,002202 \cdot n}. \quad (6)$$

Для порівняння зробимо розрахунки за отриманою формулою (6), результати яких приведені у таблиці 6

На підставі результатів розрахунків (таблиця 6) представлені графічні залежності (рис. 2) максимальної швидкості повітряного потоку V в пневмосепараційній камері від частоти обертання ротора вентилятора n , отримані експериментально та теоретичним шляхом.

Таблиця 6 – Результати розрахунків для визначення залежності максимальної швидкості повітряного потоку V в пневмосепараційній камері від частоти обертання ротора вентилятора n

n	300	400	500	600	700
$V_{\text{експ.}}$	2,4	2,95	3,81	4,61	5,77

$V_{\text{розр.}}$	2,4	2,98	3,73	4,64	5,79
$\delta, \%$	0	3	8	3	2

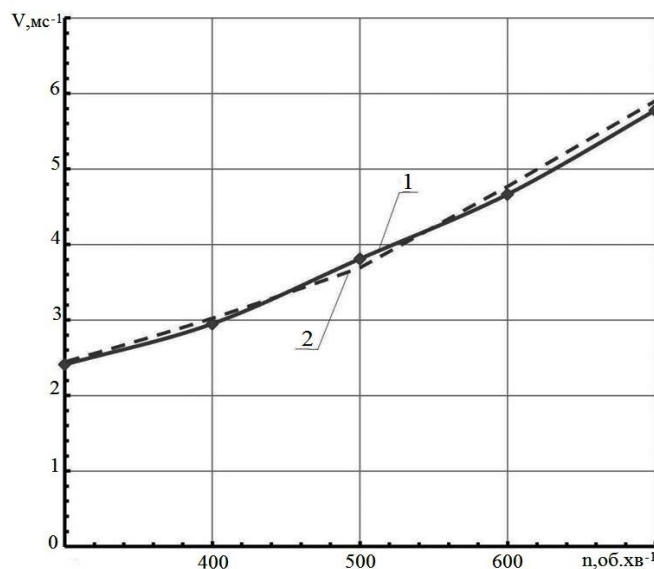


Рис. 2. Залежності максимальної швидкості повітряного потоку V в пневмосепараційній камері від частоти обертання ротора вентилятора n : 1 – отримано експериментально, 2 – отримано теоретично

Висновок.

Підвищення ефективності попередньої очистки сільськогосподарських культур можливо за рахунок теоретичного обґрунтування швидкості повітряного потоку у пневмосепараційній камері пневморешітного сепаратора. Новизна полягає в тому, що вперше отримані залежності максимальної швидкості повітряного потоку в пневмосепараційній камері ПРС від частоти обертання ротора вентилятора на підставі теоретичного та експериментального аналізів. Ці залежності дозволяють робити розрахунки в будь-яких проміжних точках визначеного діапазону розглядуваного процесу.

Література:

1. Буряков, Ю.П. Индустриальная технология подсолнечника/ Ю.П. Буряков. М.: Высшая школа, 1983. – 192 с.
2. Нікітчин Д. І. Соняшник / Д.І. Нікітчин // - К. : Урожай, 1993. – 192 с.
3. Михайлов Е.В. Свойства семян подсолнечника и показатели качества масличного сырья, поступающего на Мелитопольский маслоэкстракционный завод./ Є.В. Михайлов, Н.А.Задосная.// Праці таврійського державного агротехнологічного університету. Вип.13.т.3. : – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – С. 118 – 123.

4. Михайлов Є.В. Аспекти методики визначення параметрів повітряного потоку в пневмосистемі машини попереднього очищення зерна /Є.В. Михайлов, О.О. Білокопитов, М.П. Кольцов // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. — Мелітополь, 2010. -Вип. 11, т. 1. – С.242 – 250.

5. Михайлов Є.В. Аналіз пневматичних систем зерноочисних машин та удосконалення їх класифікації / Є.В. Михайлов, Білокопитов О.О., Задосна Н.О., Д.В. Сердюк // Праці таврійського державного агротехнологічного університету. Вип.12.т.5.: – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – С. 50 – 61.

6. Пат. № 61469 U Україна, МПКВ07В1/28. Решітний сепаратор /Є.В. Михайлов, О.О. Білокопитов, В.С. Дудка, А.В. Перетятко; Заявник та патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. заявл. 23.11.2010; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14. – 4 с.

7. Білокопитов О.О, Аналіз результатів визначення критичної швидкості та коефіцієнту парусності складових зернового вороху/ О.О Білокопитов, Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету.– Мелітополь, 2012.– Вип. 2, т. 5. - с.- 198-207.

8. Пат. РФ № 2303494 МПК В07В4/02 А01F 12/44 Замкнуто-разомкнутая пневмосистема зерноочистительной машины / А.И. Бурков, О.П. Роцин, Н.Л. Коньшев (РФ) Заявка 2006107859/03 от 2006.03.13

9. Михайлов Є.В. Теоретичний аналіз процесу псевдозрідження зернового вороху / Є.В.Михайлов, Н.О. Задосна, О.О. Афанасьєв// Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь. – 2019. – Вип. 19, т. 3 . С. 29-36.

10. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. М., Физматгиз, 1963 г., – 400 с.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В ПНЕВМОСЕПАРАЦИОННОЙ КАМЕРЕ ПНЕВМОРЕШЁТНОГО СЕПАРАТОРА

Е. В. Михайлов, Н. А. Задосная, Н. А. Рубцов

Аннотация - в работе представлено теоретическое исследование зависимости максимальной скорости воздушного потока в пневмосепарационной камере пневморешётного сепаратора от частоты вращения ротора вентилятора. Семенной ворох подсолнечника и зерна, поступающего из бункера комбайна, в большинстве случаев имеет повышенную влажность и содержит значительное количество примесей. На начальном этапе очистки

наиболее часто разделение составляющих вороха семян подсолнечника и зерновых происходит с учетом его аэродинамических свойств и критических скоростей витания. Несмотря на широкое использование явления движения материальных частиц в современных зерноочистительных машинах, связанных с сепарацией составляющих зернового вороха, количественные закономерности движения тел с учетом сопротивления воздушной среды и сегодня нуждаются исследований. Мы разработали пневморешётный сепаратор с замкнутой воздушной системой, в котором путем установки пневмосепарирующей и осадочной камеры, со сложной геометрической поверхностью, соединенные всасывающим каналом с диаметральной вентилятором, создана замкнутая воздушная систему. Это обеспечивает улучшение процесса выделения легких примесей, уменьшение энергоемкости пневмосепарации и загрязнения окружающей среды. Целью исследования является повышение эффективности предварительной очистки сельскохозяйственных культур за счет теоретического обоснования скорости воздушного потока в пневмосепарационной камере пневморешётного сепаратора. На основании результатов расчетов представлены графические зависимости максимальной скорости воздушного потока в пневмосепарационной камере от частоты вращения ротора вентилятора, полученные экспериментально и теоретическим путем. Новизна заключается в том, что впервые получены зависимости максимальной скорости воздушного потока в пневмосепарационной камере пневморешётного сепаратора от частоты вращения ротора вентилятора на основании теоретического и экспериментального анализа. Эти зависимости позволяют производить расчеты в любых промежуточных точках определенного диапазона рассматриваемого процесса.

Ключевые слова - пневмосепарационная камера, частота вращения ротора вентилятора, скорость воздушного потока.

THEORETICAL SUBSTANTIATION OF AIR FLOW SPEED IN AN AIR-SEPARATION CAMERA OF AN AIR-NOISE SEPARATOR

E. Mikhailov, N. Zadosnaya, N. Rubtsov

Summary

The paper presents a theoretical study of the dependence of the maximum air flow rate in the pneumatic separation chamber of the pneumatic sieve separator on the fan rotor speed. The heap of sunflower and grain coming from the bunker of the harvester, in most cases, has high humidity and contains a significant amount of impurities. At the initial stage of cleaning, the separation of the components of a heap of sunflower seeds and grain most often occurs taking into account its aerodynamic properties and critical speeds of soaring. Despite the widespread use of the phenomenon of movement of material particles in modern grain cleaning machines associated with the separation of the components of the grain heap, the quantitative laws of the movement of bodies taking into account the resistance of the air environment still need research. We have developed a pneumatic sieve separator with a closed air system, in which a closed air system is created by installing a pneumatic separating and sedimentary chamber with a complex geometric surface, connected by a suction channel to a diametrical fan. This provides an improvement in the process of separation of light impurities, reducing the energy intensity of pneumatic separation and environmental pollution. The aim of the study is to increase the efficiency of pre-treatment of crops due to the theoretical justification of the speed of the air flow in the air separation chamber of the pneumatic sieve separator. Based on the calculation results, graphical dependences of the maximum air flow rate in the pneumatic separation chamber on the frequency of rotation of the fan rotor are obtained, obtained experimentally and theoretically. The novelty lies in the fact that, for the first time, the dependences of the maximum air velocity in the pneumatic separation chamber of the pneumatic sieve separator on the rotor speed of the fan rotor are obtained based on theoretical and experimental analysis. These dependences make it possible to carry out calculations at any intermediate points of a certain range of the process in question.

Keywords - pneumatic separation chamber, fan rotor speed, air flow rate.