УДК. 631.362.3.004.1

МОДЕЛІ РЕГРЕСІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ ПНЕВМОРЕШІТНОГО СЕПАРАТОРА ОЛІЙНОЇ СИРОВИНИ СОНЯШНИКУ

Михайлов Є.В., д.т.н., https://orcid.org/0000-0001-9906-6699
Леженкін О.М., д.т.н., https://orcid.org/0000-0003-2822-8173
Задосна Н.О., к.т.н., https://orcid.org/0000-0001-7780-235X
Афанасьєв О.О., інж., https://orcid.org/0000-0002-3528-0386
Задосний Д.О., студент
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
Тел. (0619) 421265

Анотація **– в роботі представлені моделі регресії технологічного процесу роботи пневморешітного сепаратора олійної сировини соняшнику.**

Важливим показником технологічної якості насіння є вміст в ньому домішок. Домішки сировини поділяються на сміттєві та олійні. Визначено, що за останні 20-30 років у зв'язку з вирощуванням нових сортів соняшнику, змінною термінів збирання, використання сучасної збиральної техніки вітчизняного та іноземного виробництва фізико-механічні та аеродинамічні властивості олійної сировини соняшнику (ОСС) змінилися, а це потребує удосконалення технічних засобів для її переробки.

На початковому етапі очистки найбільш часто поділ складових вороха насіння соняшнику відбувається з урахуванням його фізико-механічних та аеродинамічних властивостей. 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[1, 2].

Низька ефективність виділення важковідокремлюємих домішок із насіннєвого матеріалу в більшості випадків викликає необхідність додаткового пропускання оброблюваного матеріалу через технологічні лінії , що призводить до втрат повноцінного насіння у фураж або відходи , а також до значного їх травмування.

Ця обставина обумовлює пошук , розробку і використання

© Михайлов Є.В., Леженкін О.М., Задосна Н.О, Афанасьєв О.О., Задосний Д.О.

технічних рішень , спрямованих на вдосконалення конструкцій і основних робочих органів даних машин з метою підвищення ефективності їх роботи, що підтверджує її актуальність.

У зв'язку з впровадженням у виробничий процес експериментального пневморешітного сепаратора (ПРС) ОСС, виникає проблема з теоретичним досліджень робочих органів, технологічного процесу його роботи та визначенням області раціональних значень основних параметрів і режимів роботи жалюзійного повітророзподільника [4, 5, 6].

Отримані моделі регресії технологічного процесу роботи пневморешітного сепаратора олійної сировини соняшнику за рахунок визначення функцій відгуку повноти виділення сміттєвих домішок та втрат повноцінного насіння в залежності від значущих факторів: частоти обертання вентилятора, кута нахилу рухомої жалюзі до нерухомої, кута нахилу середньої рухомої стінки повітророзподільного пристрою.

***Ключові слова* – математичні моделі регресії, пневморешітний сепаратор олійної сировини соняшнику, технологічний процес, жалюзійний повітророзподільник.**

Постановка проблеми. Відповідно договору про творчу співпрацю ТДАТУ та дочірнього підприємства «Гуляйпільський механічний завод» «ВАТ Мотор Січ» (м. Гуляйполе) для дослідження технологічного процесу роботи жалюзійного повітророзподільника було виготовлено лабораторно-виробничий стенд (рис. 1)[4-7]

Лабораторно-виробничий стенд складається з основних частин: рами, вентилятора діаметрального типу, повітророзподільного каналу, жалюзійного повітророзподільника, лотока-інтенсифікатора, циліндричного решета з горизонтальною віссю обертання та зовнішньою робочою поверхнею, щітки очисної з секційним набором ворси, осадової камери, яка має 2 ступеня очистки та блоку з рухомою частиною, що дозволяє змінювати «живий» перетин та структуру повітряного потоку.

Аналіз останніх досліджень. Основні параметри та конструктивні розміри установлені на основі результатів теоретичних досліджень та попередніх пошукових дослідів [3-12].

Мета дослідження. Отримати моделі регресії технологічного процесу роботи пневморешітного сепаратора олійної сировини соняшнику за рахунок визначення функцій відгуку повноти виділення сміттєвих домішок та втрат повноцінного насіння в залежності від значущих факторів: частоти обертання вентилятора, кута нахилу рухомої жалюзі до нерухомої, кута нахилу середньої рухомої стінки повітророзподільного пристрою.

Рисунок 1– Лабораторно-виробничий стенд пневморешітного сепаратора олійної сировини соняшнику

Основна частина. Методикою передбачається визначення області раціональних значень основних параметрів і режимів роботи жалюзійного повітророзподільника за рахунок [4-6]:

x_1–подачі повітряного потоку (частоти обертання вентилятора);

x_2 –кута нахилу середньої рухомої стінкиповітророзподільного пристрою (рис. 2);

x_3– кута нахилу рухомої жалюзі до нерухомої α (рис. 3).

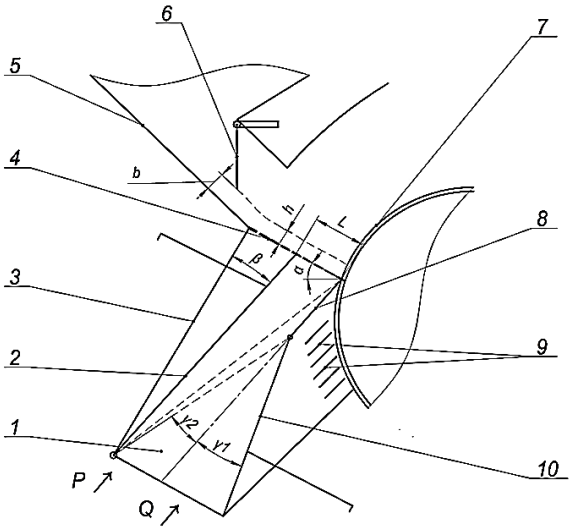

Рисунок 2 – Схема повітророзподільного пристрою пневморешітного сепаратора олійної сировини соняшнику

1 – повітророзподільник; 2 – стінка задня рухома; 3 – стінка задня; 4 – лоток-інтенсифікатор; 5 – бункер; 6 – заслінка; 7 – циліндричне решето; 8 – стінка середня нерухома; 9 – жалюзі; 10 – стінка середня рухома; α – кут нахилу лотка-інтенсифікатора відносно горизонталі; β – кут нахилу задньої рухомої стінки; γ – кут нахилу середньої рухомої стінки.

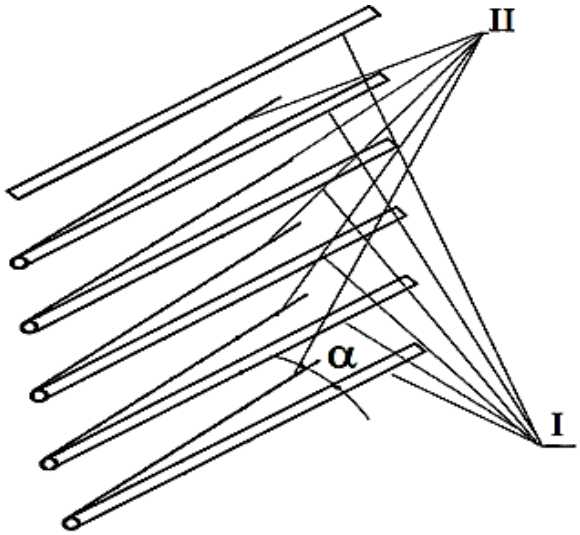

Рисунок 3 − Нерухомі та рухомі жалюзі

I − нерухомі жалюзі, II − рухомі жалюзі, α − кут нахилу рухомої жалюзі до нерухомої

Згідно методики проведення багатофакторного експерименту був реалізовано метод Бокса-Бенкіна для трьох факторів, який оцінювався двома функціями відгуку.

У результаті проведення експериментів була одержана первинна інформація про функції відгуку, яка використовувалася для визначення коефіцієнтів регресії.

Після визначення коефіцієнтів регресії проводилася перевірка їх значущості, для цього спочатку була визначена за результатами дослідів в центрі плану дисперсія, що характеризує помилку дослідів, а потім визначалася дисперсія відтворюваності. Використовуючи їх значення і формули були визначені дисперсії, що характеризують помилки у визначенні коефіцієнтів рівняння регресії.

Подальші обчислення були пов'язані з визначенням довірчого інтервалу.

Для оцінки адекватності отриманої математичної моделі було використано критерій Фішера.

Результати оцінки адекватності першої моделі наведені в таблиці 1.

У табл. 1 представлені розрахункові та експериментальні дані по всім 15 точкам плану. З табл. 1 видно, що різниця знаходиться в межах 0,5-1,0, що вказує на досить гарну згоду між теоретичними і експериментальними значеннями з розкидом не більше (1-2)%.

Таблиця 1

Оцінка адекватності першої моделі

```
 Исходные экспериментальные и вычисленные
  данные для первого уравнения регрессии
   57.1   55.7625
   56.3   55.8125
   52.7   53.1875
   53.5   54.8375
   51.2   51.0667
   52.1   52.875
   51.4   52.45
   51.6   50.55
   52   51.225
   51.2   51.0667
   49.2   49.7625
   49.8   50.0875
   51.1   50.8125
   51.3   50.7375
   50.8   51.0667
Дисперсия воспроизводимости по всем точкам
 плана в первой модели 12.005
Дисперсия неадекватности первой модели 6.27313
Критерий Фишера для первой модели 0.522543
Критическое значение F для q=0.05 равно 4.5
Критическое значение F для q=0.01 равно 9.2
  ПРИ q=0.05 ПЕРВАЯ МОДЕЛЬ АДЕКВАТНА!
  ПРИ q=0.01 ПЕРВАЯ МОДЕЛЬ АДЕКВАТНА!
```

Коефіцієнти регресії першого рівняння

```
      Коэффициенты регрессии для первого уравнения
b01=51.0667 b11=0.8875 b21=-0.425 b31= -0.0625
b121=0.4 b131=0.275 b231=-0.1
b111=2.62917 b221=1.20417 b331=-1.92083
```

Перше рівняння регресії має вигляд:

$$y_1 = 51{,}07 + 0{,}89x_1 - 0{,}43x_2 - 0{,}06x_3 + 0{,}40x_1x_2 + 0{,}28\,x_1x_3 - 0{,}10x_2x_3 + 2{,}63x_1^2 + 1{,}20x_2^2 - 1{,}92x_3^2 \quad (1)$$

Дисперсії неадекватності і відтворюваності експериментів рівні, відповідно, 6,27 і 12,01, що також свідчить про адекватність моделі. Середньоквадратичні відхилення коефіцієнтів регресії і їх довірчі інтервали представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Середньоквадратичні відхилення коефіцієнтів регресії і їх довірчі інтервали

```
Среднеквадратические отклонения коэффициентов регрессии
  в первой модели при q=0,05 для 4 степеней свободы
b01: 2.00042
b11: 1.225    b21: 1.225    b31: 1.225
b121:1.73241    b131:1.73241    b231:1.73241
b111:1.80315    b221:1.80315    b331:1.80315
 Доверительные интервалы коэффициентов регрессии
в первой модели при q=0,05 для 4 степеней свободы
b01: 5.55316
b11: 3.4006    b21: 3.4006    b31: 3.4006
b121:4.80917    b131:4.80917    b231:4.80917
b111:5.00555    b221:5.00555    b331:5.00555
```

Зіставлення рівняння (1) з даними табл. 1 видно, що абсолютні значення для більшості коефіцієнтів регресії виявляються менше середньоквадратичних їх відхилень й виходять за межі довірчих інтервалів. Адекватність моделі, в основному, визначається коефіцієнтом b_{01}. Найбільш значущим з інших коефіцієнтів регресії є коефіцієнти, які стоять перед першим фактором, що визначає частоту обертання ротора вентилятора. Для отримання додаткової інформації про вплив цього та інших факторів необхідно було провести експерименти із забезпеченням більш точних вимірювань.

Таблиця 3

Оцінка адекватності другої моделі

```
 Исходные эксперимeтальные и вычисленные
  данные для второго уравнения регрессии
  1.2   1.16417
  1.17   1.12333
  0.44   0.486667
  0.51   0.545833
  0.67   0.656667
  1.05   1.07458
  1.02   1.07792
  0.5   0.442083
  0.48   0.455417
  0.65   0.656667
  0.67   0.68125
  0.723333   0.70125
  0.68   0.702083
  0.71   0.69875
  0.65   0.656667
Дисперсия воспроизводимости по всем
 точкам плана во второй модели 0.00344889
Дисперсия неадекватности второй модели 0.0122521
Критерий Фишера второй модели 3.55247
Критическое значение F для q=0.05 равно 4.5
Критическое значение F для q=0.01 равно 9.2
  ПРИ q=0.05 ВТОРАЯ МОДЕЛЬ АДЕКВАТНА!
   ПРИ q=0.01 ВТОРАЯ МОДЕЛЬ АДЕКВАТНА!
```

```
     Коэффициенты регрессии для второго уравнения
b02=0.656667 b12=0.31375 b22=-0.00458333 b32= -0.00416667
b122=0.025 b132=0.0025 b232=-0.00583333
b112=0.12 b222=0.0533333 b332=-0.0141667
```

Друге рівняння регресії має вигляд:

$$y_2 = 0{,}66 + 0{,}31x_1 + 0{,}03x_1x_2 + 0{,}12x_1^2 + 0{,}05x_2^2 - 0{,}01x_3^2. \qquad (2)$$

У табл. 3 представлені розрахункові та експериментальні дані по всім 15 точкам плану. З табл. 3 видно, що різниця знаходиться в межах 0,02-0,05, що вказує на досить гарну згоду між теоретичними і експериментальними значеннями з розкидом не більше (2-4)%. Дисперсії неадекватності і відтворюваності в другій моделі рівні, відповідно, 0,012 і 0,0034. Критерій Фішера дорівнює 3,55, що також свідчить про адекватність рівняння. Середньоквадратичні відхилення коефіцієнтів регресії і їх довірчі інтервали представлені в табл. 4

Таблиця 4

Середньоквадратичні відхилення коефіцієнтів регресії і їх довірчі інтервали

```
Среднеквадратические отклонения коэффициентов регрессии
  во второй модели при q=0,05  для 4 степеней свободы
b02: 0.0339062
b12: 0.0207632    b22: 0.0207632    b32: 0.0207632
b122:0.0293636    b132:0.0293636    b232:0.0293636
b112:0.0305626    b222:0.0305626    b332:0.0305626
 Доверительные интервалы коэффициентов регрессии
во второй модели при q=0,05 для 4 степеней свободы
b02: 0.0941236
b12: 0.0576387    b22: 0.0576387    b32: 0.0576387
b122:0.0815134    b132:0.0815134    b232:0.0815134
b112:0.0848418    b222:0.0848418    b332:0.0848418
```

Після відкидання найменш значущих коефіцієнтів рівняння (2) приймає вигляд:

$$y_2 = 0,66 + 0,31x_1 + 0,03x_1x_2 + 0,12x_1^2 + 0,05x_2^2 - 0,01x_3^2. \quad (3)$$

Приклад розрахунку залежності y_2 від фактора x_1 при $x_2=x_3=0$ представлений в табл. 5

Таблиця 5

Приклад розрахунку залежності y_2 від фактора x_1 при $x_2 = x_3 = 0$

```
 Зависимость y2 от x1 при x2=x3=0
-1   0.46
-0.8   0.48505
-0.6   0.5197
-0.4   0.56395
-0.2   0.6178
0   0.68125
0.2   0.7543
0.4   0.83695
0.6   0.9292
0.8   1.03105
```

Таким чином, в результаті реалізації плану другого порядку були отримані математичні моделі (1, 3) у вигляді поліномів другого ступеня, які адекватно описують процес сепарування олійної сировини соняшнику.

Перше з рівнянь (1) характеризує зміну повноти відділення сміттєвих домішок в залежності від параметрів і режимів роботи ПРС, а друге рівняння (3) описує характер змін втрат повноцінного насіння. Подальший аналіз цих рівнянь дасть можливість провести заключний блок експериментальних досліджень по визначенню раціональних значень параметрів і режимів роботи ПРС при очищенні ОСС.

Висновок

Отриманомоделі регресії технологічного процесу роботи пневморешітного сепаратора олійної сировини соняшнику,які адекватно описують процес сепарування олійної сировини соняшнику. Визначено функції відгуку повноти виділення сміттєвих домішок та втрат повноцінного насіння в залежності від значущих факторів: частоти обертання вентилятора, кута нахилу рухомої жалюзі до нерухомої, кута нахилу середньої рухомої стінки повітророзподільного пристрою.

Література:

1. Проектування сільськогосподарські машини. Навчальний посібник для виконання курсових проектів з розробки сільськогосподарської техники при підготовці фахівців напрямку 6.100202 «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» /І.М. Бендера та інш. –Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2010. – 640 с.

2. Основи розрахунку та конструювання обладнання переробних і харчових виробництв: підручник /ТДАТУ: К.О. Самойчук, В.С. Бойко, В.О. Олексієнко та ін. – Мелітополь: Вид. «ММД», 2020. – 428с.

3. Технічні засоби післязбиральної обробки насіння соняшнику: монографія /Є.В.Михайлов, С.В. Кюрчев, О.С. Колодій, Н.О. Задосна, В.О. Верхоланцева, Л.М. Чернишова, Н.О Паляничка// Видавничо-поліграфічний центр FORWARDPRESS, м. Мелітополь, 2019. – 203с.

4. *Михайлов Е.В., Белокопытов А.А., Задосная Н.А.* Обоснование параметров технологических процессов послеуборочной обработки зерна с использованием имитационного моделирования // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наукових праць УкрНДІПВТ. – Дослідницьке, 2013. – Кн. 2. - Вип.17 (31). – С. 68-75.

5. *Михайлов Є.В., Задосная Н.А., Белокопытов А.А.* Удосконалення пневморешітного сепаратору зернового вороху // Науковий журнал «Інженерія природовикористання». Харків, 2015, №1(3). С. 61-63.

6. *Михайлов Є.В., Задосная Н.А., Белокопытов А.А.* Методика встановлення та визначення параметрів і режимів роботи пневморешітного сепаратору зернового вороху // Науковий журнал «Інженерія природовикористання». Харків, 2015, №1(3). С. 44-49.

7. *Михайлов Є.В., Задосная Н.А.* Шляхи інтенсифікації процесу попередньої очистки зерна та олійної сировини соняшнику //. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: Мелітополь, 2015. Вип. 5, т. 2. С. 41-49.

8. *Задосна Н.О.* Передумови визначення параметрів і режимів роботи машини попередньої очистки зерна // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2015. Вип. 15, т. 4. С. 167-172.

9. Обгрунтування параметрів та режимів роботи пневмосепаратора попередньої очистки олійної сировини соняшнику / Є.В. Михайлов, Н.О. Задосна, Г.В. Теслюк, М.О. Рубцов [та ін.]Вісник ДДАЕУ. Дніпропетровськ, 2015. №4 (38). С. 91-95.

10. *Задосная Н.А.* Аспекты обоснования параметров и режимов работы пневмосепаратора масличного сырья подсолнечника //. MOTROL Commission of Motorization and Power industry in Agriculture Polish Academy of Sciences Branch in Lublin, –Volume 17, № 9. –2015, – p. 43 – 49.

11. Рекомендації щодо обгрунтування комплексу технічних засобів післязбиральної обробки зерна в умовах Півдня України /Є. Михайлов, Є. Сербій, Н. Задосна [таін.] Науковий журнал «Техніка і технології АПК». № 5(80), Київ, 2016. С. 28-30.

12. *Михайлов Є.В., Задосна Н.О. Рубцов М.О.* Теоретичні дослідження руху сміттєвих частин олійної сировини соняшнику у повітряному потоці пневмосепаратора. // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2016. Вип. 6, т. 3. С. 196-203.

МОДЕЛИ РЕГРЕССИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАБОТЫ ПНЕВМОРЕШИТНОГО СЕПАРАТОРА МАСЛИЧНОГО СЫРЬЯ ПОДСОЛНЕЧНИКА

Михайлов Е.В., Леженкин А.Н., Задосная Н.А.,
Афанасьев О.О., Д.А.Задосный

Аннотация

В работе представлены модели регрессии технологического процесса работы пневморешётного сепаратора масличного сырья подсолнечника.

Важным показателем технологического качества семян является содержание в нем примесей. Примеси сырья разделяютсяна сорные и масличные. Определено, что за последние 20-30 лет в связи с выращиванием новых сортов подсолнечника, переменной сроков сбора, использования современной уборочной техники отечественного и иностранного производства. Физико-механические и аэродинамические свойства масличного сырья подсолнечника (МСП) изменились, а это требует совершенствования технических средств для его переработки.

На начальном этапе очистки наиболее часто разделение составляющих вороха семян подсолнечника происходит с учетом его физико-механических и аэродинамических свойств. Высокопроизводительные машины предварительной очистки зерна, как правило, используют принцип разделения частиц в воздушном потоке. 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 в исследовании.

Низкая эффективность выделения тяжелоотделимых примесей с семенного материала в большинстве случаев вызывает необходимость дополнительной обработки материала, что приводит к потерям полноценных семян в отходы, а также к их травмированию.

Это обстоятельство обусловливает поиск, разработку и использование технических решений, направленных на совершенствование конструкций и основных рабочих органов данных машин с целью повышения эффективности их работы, подтверждает ее актуальность.

В связи с внедрением в производственный процесс экспериментального пневморешётного сепаратора (ПСС) МСП, возникает проблема с теоретическим исследований рабочих органов, технологического процесса его работы и определения области рациональных значений основных параметров и режимов работы жалюзийных воздухораспределителя.

Получены модели регрессии технологического процесса работы пневморешётного сепаратора масличного сырья подсолнечника. Определены функции отклика полноты выделения сорных примесей и потерь полноценных семян, в зависимости от значимых факторов: частоты вращения вентилятора, угла наклона подвижной жалюзи к неподвижной, угла наклона средней подвижной стенки воздухораспределительного устройства.

Ключевые слова **- математические модели регрессии, пневморешётный сепаратор масличного сырья подсолнечника, технологический процесс, жалюзийный воздухораспределитель.**

MODELS OF REGRESSION OF THE TECHNOL OGICAL PROCESS OF OPERATION OF THE SUNFLOWER OIL SEPARATOR

E. Mikhailov, A.Lezhenkin, N. Zadosnaya,
O.Afanasiev, D. Zadosnyy

Summary

The paper presents regression models of the technological process of the pneumatic sieve separator of sunflower oil raw materials.

An important indicator of the technological quality of seeds is the content of impurities. Admixtures of raw materials are divided into weeds and oilseeds. It has been determined that over the past 20-30

years in connection with the cultivation of new varieties of sunflower, variable collection times, the use of modern harvesting equipment of domestic and foreign production, the physical, mechanical and aerodynamic properties of sunflower oil raw materials (SME) have changed, and this requires the improvement of technical means for its processing.

At the initial stage of cleaning, the separation of the components of a pile of sunflower seeds is most often taking into account its physical, mechanical and aerodynamic properties. High-performance grain precleaners generally use the principle of air separation of particles. Despite the widespread use of the phenomenon of the 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 require research.

The low efficiency of separating heavily separable impurities from the seed material in most cases necessitates additional processing of the material, which leads to the loss of high-grade seeds to waste, as well as to their significant injury.

This circumstance determines the search, development and use of technical solutions aimed at improving the structures and main working bodies of these machines in order to increase the efficiency of their work, confirms its relevance.

In connection with the introduction of an experimental pneumatic sieve separator (PSS) of MSP into the production process, a problem arises with the theoretical research of working bodies, the technological process of its operation and the determination of the area of rational values of the main parameters and operating modes of the louvered air distributor.

The developed models of regression of the technological process of the pneumatic screen separator of sunflower oil raw materials by determining the response functions of the completeness of the release of garbage impurities and the completeness of losses of high-gradeseeds, depending on the significant factors: the fan speed, the angle of inclination of the movable louver to the fixed one, the angle of inclination of the middle movable wall of the air distribution device.

Key words **– mathematical models of regression, pneumatic sieve separator for sunflower oil raw materials, technological process, louvere dair distributor.**