



УДК 665.1 – 665.3

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ РУШАНКИ СЕМЯН КЛЕЩЕВИНЫ В ШЕЛЬМАШИНЕ

Ткаченко А.В., к.т.н.,

Дидур В.В., к.т.н.,

Дидур В.А., д.т.н.,

Ткаченко В.А., к.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел.: (0619) 44-02-74

Аннотация – работа посвящена оптимизации технологических режимов комбинированной сепарации рушанки семян на колеблющем решете и в аспирационном канале, позволяющей эффективней использовать выбранные кинематические режимы решета и равномерней загрузить аспирационный канал по ширине и времени работы.

Ключевые слова – сепарация, рушанка, аспирационный канал, кинематические режимы решета, равномерная загрузка.

Постановка проблемы. Для обрушивания семян клещевины предлагается использовать шельмашину по существующей схеме: однопарные вальцы для обрушивания семян, отделение дроблѐнки на решете, разделение крупных фракций ядра и оболочки в вертикальном пневмосепарационном канале. Для повышения эффективности работы шельмашины необходимо кинематические режимы колеблющегося решета подобрать так, что бы с одной стороны максимально отделить дроблѐнку (мелкие частицы оболочки и ядра), а с другой стороны равномерней загрузить пневматический канал во времени и по ширине пневмосепарационного канала. При этом в соответствии с выбранными режимами колеблющегося решета, должны быть выбраны конструктивные параметры пневмосепарационного канала и его технологические режимы.

Характер движения решета определяется наклоном его плоскости (угол наклона α), направленностью колебаний (угол ε), коэффициентом трения материала о поверхность несущей его плоскости и показателем кинематического режима этой плоскости. Работа аспирационного канала зависит от его ширины, скорости и равномерности за-

грузки обрабатываемого материала, а также скорости и равномерности воздушного потока.

Анализ последних исследований. Семена клещевины имеют очень хрупкую оболочку и высокомасличное ядро с очень малой механической прочностью. Эти особенности семян клещевины обуславливают специфические условия их обрушивания и сепарирования полученной рушанки в комбинированной машине, называемой шельмашиной. Совмещение двух операций в одной машине сокращает время соприкосновения оболочки с частично разрушенным высокомасличным ядром, что снижает потери масла в производстве. Обрушивание семян производится раскалыванием с помощью парных валков (с одинаковыми скоростями вращения). Разделение рушанки происходит последовательно на ситах и в воздушном канале.

Показатели работы шельмашины в разных литературных источниках противоречивы. И.В. Гавриленко констатирует, что при влажности семян 6 – 8 % ядро содержит 1,5 – 2,0 % лузги. Содержание ядра в лузге в среднем составляет 0,2 – 0,6 % [1].

В.М. Копейковский [2] утверждает, что лузжистость ядра, выходящего из шельмашины, составляет 13 – 15 %, вынос ядра в оболочку 0,3 – 0,4 %, масличность отходящей оболочки 1,5 – 2,0 %.

При расчётах решетных очисток, а в данном случае очистки ядра от лузги расчёт ведут отдельно колеблющихся решётных станков и аспирационных каналов. В результате расчётные параметры режимов решетного стана не обеспечивают равномерность загрузки ширины аспирационного канала по его ширине и времени работы, что снижает качественные показатели всего устройства.

Формулировка целей статьи. Целью данной работы является оптимизация технологических режимов сепарации рушанки семян.

Основная часть. В результате обрушивания семян клещевины образуется рушанка, состоящая из крупных частиц ядра, оболочки и дроблёнки (мелкие частицы оболочки и ядра). Мелкие частицы имеют большой коэффициент парусности (малую критическую скорость), поэтому в существующих пневмосепарационных системах их можно отделить лишь на матерчатом фильтре. Однако из-за высокой масличности мелкие фракции будут забивать фильтры и могут залипать при транспортировании по технологическому тракту. Кроме того, запыленный воздух будет проникать через неплотные соединения, и вызывать аллергию работающего персонала. Поэтому в технологической схеме шельмашины предусматривается ступенчатая сепарация (рис.1): отделение дроблёнки на решете, разделение крупных фракций ядра и оболочки в вертикальном пневмосепарационном канале и последующее осаждение в центробежной осадительной камере, циклоне и матерчатом фильтре.

Для определения рациональных режимов колебания решета составим математическую модель перемещения материала по поверхности решета. На рис.2 и рис.3 показаны схемы сил действующих на частицу рушанки при движении по решету соответственно вверх и вниз.

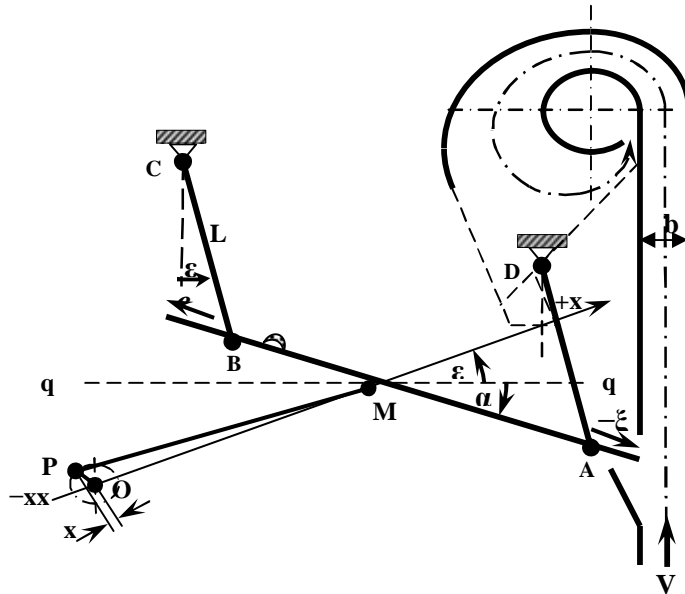


Рис. 1. Технологическая схема сепарации рушанки семян клещевины.

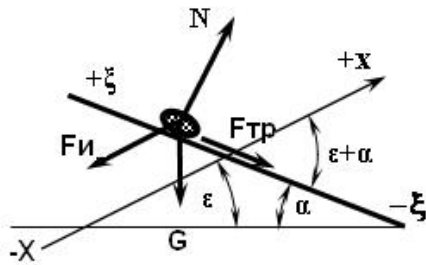


Рис. 2. Схема сил, действующих на частицы рушанки при движении вверх по решету (интервал положительных ускорений)

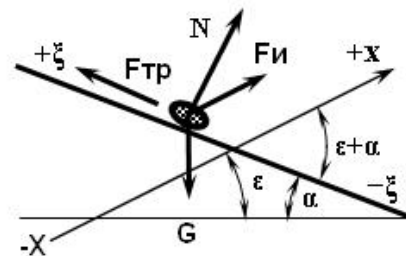


Рис. 3. Схема сил, действующих на частицы рушанки при движении вниз по решету (интервал отрицательных ускорений).

Дифференциальные уравнения относительного движения частиц по решету будет иметь следующий вид:

при движении частиц вверх

$$m \frac{d^2 \xi_{BB}}{dt^2} = F_n \cos(\epsilon + \alpha) - G \sin \alpha - F_{тр}, \quad (1)$$

где $F_n = m \omega^2 r \cos(\omega t)$,

$$F_{тр} = m \cdot \omega^2 r \cdot \cos(\omega t) \sin(\epsilon + \alpha) \cdot \operatorname{tg} \varphi + m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi.$$

при движении частиц вниз

$$m \frac{d^2 \xi_{\text{вн}}}{dt^2} = F_{\text{тр}} - F_{\text{и}} \cos(\varepsilon + \alpha) - G \sin \alpha, \quad (2)$$

где $F_{\text{и}} = -m\omega^2 r \cos(\omega t)$,

$$F_{\text{тр}} = mg \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + mgk \sin(\varepsilon + \alpha) \cos(\omega t) \operatorname{tg} \varphi$$

где $\xi_{\text{вв}}$, $\xi_{\text{вн}}$ – перемещение частицы соответственно вверх, вниз по решету;

$F_{\text{и}}$, $F_{\text{тр}}$, G – соответственно действующие на частицу сила инерции, сила трения, вес частицы;

m , g – масса частицы, ускорение свободного падения;

ω , r – угловая скорость и радиус кривошипа;

$k = \omega^2 \cdot r/g$ – показатель кинематического режима;

t – время;

α – угол наклона решета к горизонту;

φ – угол трения;

ε – угол наклона линии качения $-X - +X$, проходящей через центр вращения кривошипа и ось шарнира, соединяющего шатун и решето.

Анализ уравнений (1) и (2) позволяет определить следующие показатели кинематических режимов [3];

$$k_1 = \frac{\omega_1^2 r}{g} = \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\varepsilon + \alpha + \varphi)},$$

$$k_2 = \frac{\omega_2^2 r}{g} = \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\varepsilon + \alpha - \varphi)}, \quad (3)$$

$$k_0 = -\frac{\cos \alpha}{\sin(\varepsilon + \alpha)}.$$

При которых они, определяют условия движения частицы по решету следующим образом: если $k \leq |k_1|$ – движение вверх не происходит; $k \leq |k_2|$ – движение вниз не происходит; $k \leq |k_0|$ – отрыв массы от поверхности решета не происходит.

Характер относительного движения материала по наклонной качающейся плоскости определяется (углом наклона плоскости α), наклоном линии качения (угол ε), коэффициентом трения материала о поверхность несущей его плоскости и показателями кинематического режима этой плоскости (k_0 , k_1 , k_2).

Одной из основных задач оптимизации технологических режимов работы решётного стана шельмашины является определение рационального угла наклона решета. Теоретически в настоящее время этого определить нельзя. Опыт создания зерноочистительных машин показал, что для зерна угол наклона решета α в среднем составляет 4° ,

для подсевных решёт 11°, известны конструкции шельмашин с углом наклона решета 20°. Угол трения φ для рушанки семян клещевины составляет 27° [4]. Выбирая из практики очистительных машин три варианта угла наклона решета (4°, 14° и 20°), определяем для них с учётом технологических требований процесса просеивания на решете и загрузки аспирационного канала по его длине и времени работы оптимальные кинематические режимы. Для решения этой задачи воспользуемся теорией относительного движения тела по колеблющейся наклонной плоскости с трением [3].

На графике (рис. 4) нанесены три типа кривых уравнений (3), которые охватывают всю совокупность режимов в границе от $k=0$ до $k=3$, с направленностью линии качения $-X - +X$, меняющейся от $\varepsilon=-180^\circ$ до $\varepsilon=+180^\circ$. Пересечение этих кривых разбивает всю совокупность режимов на следующие области:

область 1 относительного покоя характеризуется точками, расположенными ниже контура кривых $k_1 a_0 k_1$ и $k_2 b_0 k_2$, так как в данном случае выдержано условие $k_1 \geq k \leq k_2$;

область 2 сдвигов только вниз характеризуется точками, расположенными на площади, очерченной контуром $k_1 \Pi b_0 \Pi k_1$ любая точка, расположенная на этой площади, удовлетворяет условию $k_1 \geq k > k_2$;

область 3 сдвигов только вверх характеризуется точками, расположенными на площади, очерченной контуром $k_2 \Pi \Pi k_2$; любая точка, расположенная на этой площади, удовлетворяет условию $k_1 < k < k_2$;

область 4 сдвигов вверх – вниз характеризуется точками, расположенными на площади, очерченной контуром $k_2 \Pi a_0 k_2$ и $k_1 \Pi k_2$ здесь любая точка удовлетворяет условию $k_1 < k > k_2$;

Область режимов сдвигов вверх вниз, сдвиг вниз значительней сдвига вверх 4А-ВН: $k_1 < k < k_0$; $k > k_2$; $\varepsilon_1 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_A$.

Из этих условий определяем значение ε . Для обеспечения эффективности работы решёт подходит 4-я область сдвигов вверх - вниз с преобладанием сдвигов вниз, при которой перемещение материала происходит без отрыва от поверхности решета. При этом целесообразно использовать вариант с полным отсутствием покоя при чередовании периодически последовательных сдвигов вниз и вверх, что имеет место при выполнении показателя режима k_w . Величину k_w можно вычислить из следующего уравнения [3]:

$$A \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\varepsilon + \alpha + \varphi)} - B \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\varepsilon + \alpha - \varphi)} = k_w^2 \sin \left[(A + B) \frac{\cos(\varepsilon + \alpha - \varphi)}{\sin(\varphi - \alpha)} \right],$$

где

$$A = \sqrt{k_w^2 - \frac{\sin^2(\alpha - \varphi)}{\cos^2(\varepsilon + \alpha - \varphi)}} \quad \text{и} \quad B = \sqrt{k_w^2 - \frac{\sin^2(\alpha + \varphi)}{\cos^2(\varepsilon + \alpha + \varphi)}}.$$

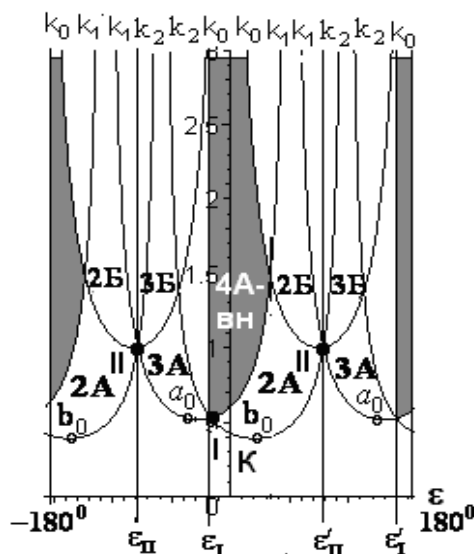


Рис. 4. График областей типичных режимов движения рушанки семян клещевины по колеблющемуся решетку.

Для определения ширины вертикального пневмосепарационного канала при сепарации рушанки семян клещевины построим траектории ядра и оболочки семян при различных скоростях воздушного потока, а также скоростях и углах ввода семян в канал. На рис.5 представлена схема сил, действующих на частицы рушанки в вертикальном пневмосепарационном канале.

Дифференциальные уравнения движения частиц рушанки в координатах ХОУ запишутся в виде:

$$\left. \begin{aligned} m \frac{d^2x}{dt^2} &= -R \sin \beta, \\ m \frac{d^2y}{dt^2} &= -mg + R \cos \beta; \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где R – сила сопротивления воздушного потока;

$$R = mk_{\Pi} u^2 \quad (5)$$

k_{Π} – коэффициент парусности, m^{-1} ;

m – масса частицы, кг;

u – скорость частицы относительно воздушного потока, м/с;

V_B – скорость воздушного потока м/с;

C_0, C – начальная и скорость частицы рушанки в воздушном потоке, м/с;

x_0', x', y_0', y' – проекции начальной и скорости в воздушном потоке частиц рушанки, м;

α, β – углы вбрасывания частицы рушанки и направления скорости движения частиц относительно скорости воздушного потока, град.;

$G=m \cdot g$ – вес частицы, Н.

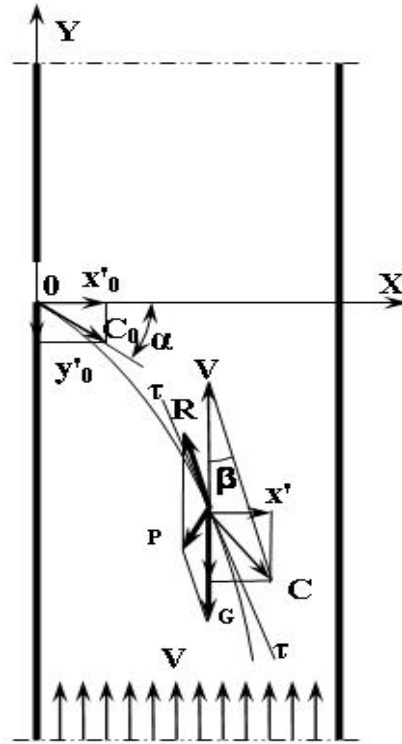


Рис. 5. Схема сил, действующих на частицу рушанки в вертикальном пневмосепарационном канале.

В табл. 1 приводятся величины k_{ac} , $k_{п}$, $v_{кр}$. Значения k и $v_{кр}$ взяты из работы [5], $k_{п}$ рассчитаны по уравнению [4]

$$k_{п} = \frac{k\rho_0 F}{m}, \quad (6)$$

где k_{ac} – коэффициент аэродинамического сопротивления;

F - миделево сечение сепарируемой частицы, m^2 ;

$v_{кр}$ – критическая скорость, m/c ;

ρ_0 – плотность воздуха, kg/m^3 .

Выражение для относительной скорости частицы в воздушном потоке в соответствии с соответствующим планом скоростей можно представить в следующем виде [6]

$$u^2 = v^2 \left[\left(1 + \frac{\dot{y}}{v} \right)^2 + \left(\frac{\dot{x}}{v} \right)^2 \right]. \quad (7)$$

После преобразования системы уравнений (4) с учётом зависимостей (5) и (6) получена система дифференциальных уравнений [6]

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= -Kv \sqrt{\left(1 + \frac{\dot{y}}{v} \right)^2 + \left(\frac{\dot{x}}{v} \right)^2} \left(\frac{\dot{x}}{v} \right); \\ \ddot{y} &= -g + Kv^2 \sqrt{\left(1 + \frac{\dot{y}}{v} \right)^2 + \left(\frac{\dot{x}}{v} \right)^2} \left(1 + \frac{\dot{y}}{v} \right) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Анализ выражения $\sqrt{\left(1 + \frac{\dot{y}}{v}\right)^2 + \left(\frac{\dot{x}}{v}\right)^2}$ в пределах практических значений режимов сепарирования и скоростей перемещения частиц показывает, что его величина изменяется незначительно и для приближённого решения может быть принята постоянной

$$\psi = \sqrt{\left(1 + \frac{\dot{y}}{v}\right)^2 + \left(\frac{\dot{x}}{v}\right)^2} \quad \psi_{cp} = const. \quad (9)$$

Для наших условий при расчёте использовали значение $\psi=1,06$.

Таблица 1– Коэффициенты сопротивления, парусности и критической скорости семян, ядра и оболочки клещевины

Анализируемый материал	k_{ac}	k_n 1/м	$v_{кр}$ м/с	k_{ac}	k_n 1/м	$v_{кр}$ м/с	k_{ac}	k_n 1/м	$v_{кр}$ м/с
	При минимальной $v_{кр}$			При максимальной $v_{кр}$			При $v_{кр}$, присущей наибольшему количеству материала		
Семена	0,28	0,27	6,0	—	—	—	0,37	0,09	10,2
Ядро	0,25	0,27	6,0	—	—	—	0,38	0,09	10,2
Оболочка	2,14	0,76	3,6	0,65	0,23	6,5	1,70	0,61	4,0

Для решения системы уравнений (8) с учётом зависимости (9) использованы следующие начальные условия [6]

$$t = 0; x_0 = 0; y_0 = 0; \left(\frac{dx}{dt}\right)_0 = c_{x0}; \left(\frac{dy}{dt}\right)_0 = c_{y0}$$

Получены аналитические зависимости для составляющих скорости и перемещения частиц рушанки в пневмосепарирующем канале:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= \frac{\dot{x}_0}{\exp(Kv\psi t)}; \\ \dot{y} &= \frac{1}{Kv\psi} \left\{ (Kv^2 - g) + \left[(g - Kv^2\psi) - Kv^2\psi\dot{y}_0 \right] \exp(-Kv\psi t) \right\}; \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{\dot{x}_0}{k_n v \psi} (1 - e^{-k_n v \psi t}); \\ y &= -\frac{k_n v^2 \psi - g}{v \psi} t + \frac{1}{(k_n v \psi)^2} \left[(g - k_n v^2 \psi) - k_n v \psi \dot{y}_0 \right] (1 - e^{k_n v \psi t}). \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

На рис. 6 представлены траектории при угле наклона решета, т.е. угле вбрасывания в сепарирующий канал $\alpha = 4^\circ$ и скорости воздушно-го потока $V_B = 4$ м/с.

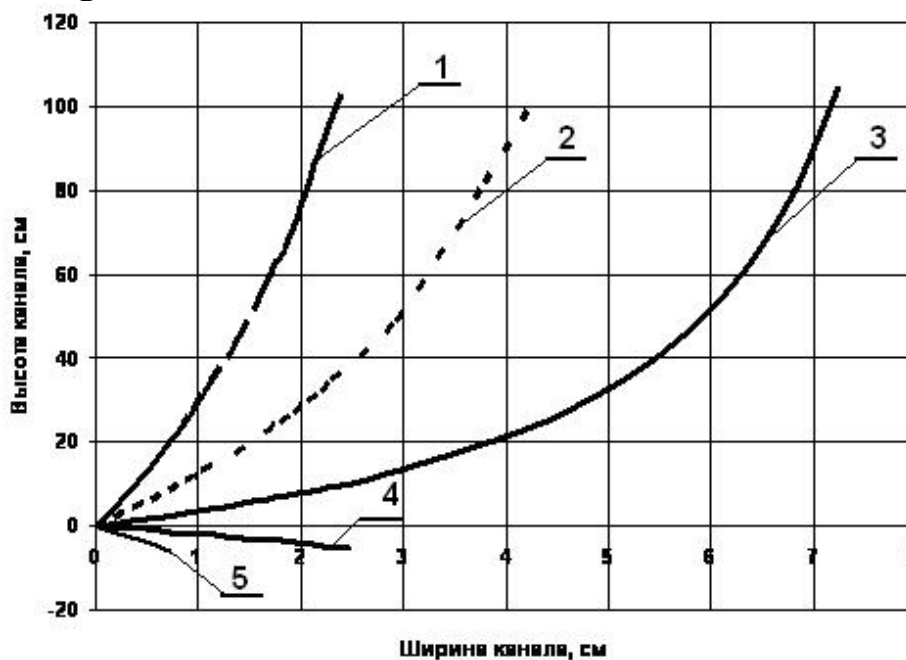


Рис. 6. Траектории частиц рушанки семян клещевины при сепарации в вертикальном пневмосепарационном канале: 1- $k_n=0,76$; 2- $k_n=0,5$; 3- $k_n=0,4$; 4- $k_n=0,35$; 5- $k_n=0,3$.

Результаты теоретических исследований движения частиц рушанки по наклонному решету представлены в табл. 2, а результаты расчёта сепарации в аспирационном канале даны в табл. 3.

Таблица 2 – Результаты теоретических исследований движения частиц рушанки по наклонному решету

Наименование параметров	Обозначение	Варианты		
		I	II	III
Угол наклона решета, град.	α	4	14	20
Угол направления линии качения, град.	ε	-19	-17.5	-30
Максимальная скорость движения вверх, м/с	$V_{\max b}$	0.18	0.34	0.42
Максимальная скорость движения вниз, м/с	$V_{\max n}$	-0.47	-0.5	-0.5
Выбранный коэффициент кинематического режима	k_w	1.86	2.0	2.5
Угловая скорость кривошипа, рад/с	ω	60.4	62.8	70

Таблица 3 – Результаты теоретических исследований параметров аспирационного канала шельмашины

Наименование параметров	Обозначение	Величина
Ширина аспирационного канала, мм.	B	70
Высота канала от точки вбрасывания до осадочной камеры, мм	H_1	1000
Высота канала от точки вбрасывания до нижней кромки канала, мм	H_2	250
Скорость воздушного потока, м/с	V_B	4,0
Скорость вбрасывания частиц рушанки, м/с	V_P	0,18
Угол вбрасывания частиц рушанки в аспирационный канал, град	α	4,0

Выводы.

1. Установлена взаимосвязь кинематических режимов решётного стана и параметров воздушного потока пневмосепарационной системы и их совместное влияние на качество сепарации рушанки. Так, например, сочетание максимальной скорости движения вверх и угла наклона решета с одной стороны и ширины пневмосепарационного канала и скорости воздушного потока с другой стороны позволяют равномерно загрузить аспирационный канал по его ширине. А выбор максимально технологически возможной угловой скорости способствует улучшению загрузки канала по времени работы. Учёт показателя кинематических режимов k_w улучшает просев мелких частей оболочки через отверстия в решете и загрузку канала во времени.

2. Рекомендуются с целью учёта изменения физико-механических свойств сепарируемого материала и расширения функциональных возможностей во вновь создаваемых сепарационных систем предусматривать возможность регулирования угла наклона решета, угловой скорости кривошипа, скорости воздушного потока и ширины аспирационного канала.

Литература.

1. Гавриленко И.В. Оборудование для производства растительных масел / Гавриленко И.В. Пищевая промышленность, 1972. – 286 с.
2. Технология производства растительных масел / [Копейковский В.М., Данильчук С.И., Гарбузова Г.И. и др] ; под ред. В.М. Копейковского. – М.: Легкая и пищевая промышленность. 1982. – 416 с.
3. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчёт, проектирование и испытание / Летошнев М.Н. – М.: Сельхозиздат, 1955. – 764..
4. Белобородов В.В. Основные процессы производства растительных масел / Белобородов В.В. – М.: Пищевая промышленность, 1966. – 478 с.

5. Кудрявцев Н. Взвешенные скорости маслосемян, их ядер и оболочек /Н. Кудрявцев //Масло-жировое дело. - 1935. - №5. - С. 206 - 208.
6. Гортинский В.В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. / Гортинский В.В., Демский А.Б., Борискин М.А. – М. : Колос. 1980. – с. 160 – 181.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ РУШАНКИ НАСІННЯ РИЦИНИ У ШІЛЬМАШИНІ

Ткаченко О.В., Дідур В.В., Дідур В.А., Ткаченко В.О.

Анотація – робота присвячена оптимізація технологічних режимів комбінованої сепарації рушанки насіння на решеті, що коливає, та в аспіраційному каналі, що дозволяє ефективніше використовувати обрані кінематичні режими решета й рівномірно завантажити аспіраційний канал по ширині й часу роботи.

MATHEMATICAL MODEL OF PROCESS OF SEPARATION BROKEN OF SEEDS RICINUS

A. Tkachenko, V. Didur, V. Didur, V. Tkachenko

Summary

The work is devoted optimization of technological modes of the combined separation broken seeds on shaking sieve and in the aspiration channel, allowing to use the chosen kinematic modes sieve more effectively and more uniform to load the aspiration channel on width and an operating time.