

УДК 631.362

*В. А. ШАРШУНОВ<sup>1</sup>, В. Е. КРУГЛЕНЯ<sup>2</sup>, А. Н. КУДРЯВЦЕВ<sup>2</sup>,  
А. С. АЛЕКСЕЕНКО<sup>2</sup>, В. И. КОЦУБА<sup>2</sup>*

**ВЫБОР КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ  
СЕПАРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА  
И РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

<sup>1</sup>*Могилевский государственный университет продовольствия*

<sup>2</sup>*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия*

*(Поступила в редакцию 15.02.2010)*

Изменения в сельскохозяйственном производстве нашей страны обуславливают необходимость преобразований в послеуборочной обработке семян льна. Длительное время темпы внедрения научно-технического прогресса в льняную отрасль были не в состоянии возместить потери, которые испытывало сельское хозяйство из-за оттока трудовых ресурсов. В результате сложилась техническая отсталость отрасли. Парк машин физически изношен (на 85–90%), к тому же обеспеченность хозяйств не превышает 40%. Моральный и физический износ машин, применяемых для переработки льновороха, а также отсутствие новых разработок не позволяют получить семена высокого качества с минимальными потерями. Следовательно, необходимо создание новой технической базы, максимально адаптированной к условиям современного сельскохозяйственного производства и обеспечивающей решение задач послеуборочной обработки при минимальных капитальных, энергетических и иных затратах [1].

Для снижения энергоемкости процесса переработки льновороха исключительное значение имеет создание машины, объединяющей обмолот и очистку льносемян. При переработке льновороха из него необходимо выделять свободные семена для исключения их травмирования в процессе обмолота, а также легкие и мелкие примеси с целью увеличения производительности очистки. С целью выполнения указанных требований в БГСХА была разработана молотилка-сепаратор льновороха МСЛВ-2,5 [2, 3]. Одной из важнейших задач при создании комбинированной молотилки-сепаратора льновороха является обеспечение качественной очистки семян льна от сорняков и других примесей.

Широкое разнообразие машин для очистки семян обусловлено способами очистки, основанными на различных физико-механических свойствах семян и примесей. Основными свойствами, по которым производится разделение семенных смесей, являются скорость витания семян и примесей и их размеры (толщина, ширина и длина). При неудовлетворительном качестве разделения по основным свойствам или для сортирования семян основной культуры на фракции применяют разделение семенной смеси по форме семян, состоянию поверхности, способности к качению, удельному весу, коэффициенту трения, электромагнитным свойствам и цвету. Классификация сепараторов, применяемых при очистке семян, представлена на рис. 1.

Наибольшее распространение при очистке семян получили комбинированные сепараторы, состоящие из одной или двух аспирационных систем и решетных станков. Для получения большей производительности решетные станы работают параллельно, а для получения лучшего качества очистки – последовательно. Благодаря широкому диапазону настроек комбинированные сепараторы, производящие не только воздушную, но и решетную сепарацию, могут работать как на первичной, так и на вторичной очистке семян.

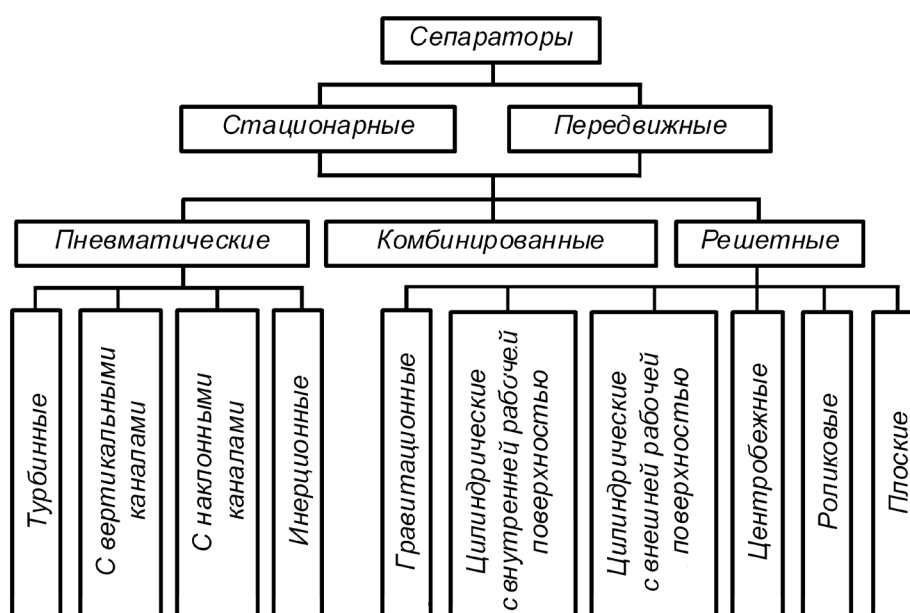


Рис. 1. Классификация выпускаемых сепараторов для первичной и основной очистки семян

Из соотношения качества сепарации и удельной энергоемкости при различных условиях работы молотилку-сепаратор наиболее рационально оснастить комбинированной воздушно-решетной очисткой, в состав которой входят плоские качающиеся решета, отличающиеся высокой эффективностью и обеспечивающие высокое качество очистки и более универсальны по своим характеристикам. Однако энергозатраты решетных станков остаются достаточно высокими – 0,65–1,61 кВт·ч/т, кроме того они имеют невысокую производительность при очистке мелкосеменных культур [4].

Указанные недостатки качающихся решетных станков являются следствием низкой ориентирующей способности плоских решет при направленности колебаний близкой к горизонтальной, особенно при работе решет с круглыми отверстиями, когда проходные частицы должны принять вертикальное положение.

Пути повышения эффективности сепарации плоских решет определяются на основании анализа процесса их работы. Процесс сепарации состоит из двух основных этапов – перераспределения частиц семенной смеси внутри слоя вороха и выделения проходовой фракции через сепарирующую поверхность [5, 6].

Интенсивность перераспределения частиц зависит от кинематического режима решет, однако при чрезмерном увеличении показателя кинематического режима происходит снижение интенсивности выделения проходных частиц через сепарирующую поверхность. Следует отметить, что интенсивность выделения семян снижается также в связи с уменьшением времени контакта семян с поверхностью решета. Решение этой проблемы видится следующее: воздействие на ворох колебаний разной частоты (например, бигармонических) или увеличение угла направленности колебаний решет.

Интенсивность выделения проходовой фракции через сепарирующую поверхность зависит от живого сечения решет и ориентирования частиц на поверхности решет. Увеличение живого сечения привело к разработке струнных решет. Улучшение ориентирования семян может осуществляться как формой поверхности решет (гофрированные решета; решета с отверстиями, расположенными в углублениях, отверстиями с отогнутыми краями), так и колебаниями решет, обеспечивающими подбрасывание центра тяжести семян на высоту, обеспечивающую попадание частиц в отверстия решета.

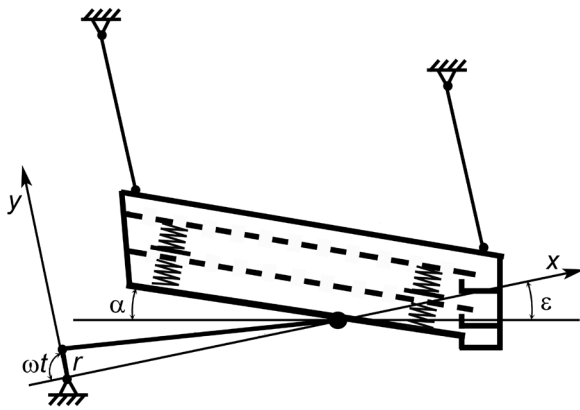


Рис. 2. Схема решетчатого стана с инерционными качающимися решетками: 1 – корпус решетчатого стана; 2 – шарниры подвески; 3 – пружины; 4 – решета

Следовательно, увеличивается угол направленности колебаний  $\varepsilon$ , приложенный к сепарирующей поверхности, а увеличение этого угла обеспечивает более интенсивное перераспределение компонентов вороха на поверхности решет. Кроме того, частицы движутся с подбрасыванием при меньших показателях кинематического режима решетчатого стана, что способствует более интенсивному их выделению на решетках с круглыми отверстиями.

Ряд экспериментальных исследований показал, что сортировальные и подсевные решета, а также решета с разным типом отверстий (прямоугольные или круглые) имеют различные условия работы и требуют различных кинематических режимов [8]. В существующих решетчатых станах это трудно выполнимо, так как обычно они работают с одинаковым кинематическим режимом, что ведет к снижению эффективности их работы.

Инерционные качающиеся решета можно установить в решетчатом стане независимо друг от друга. При этом, изменяя жесткость пружин и, следовательно, амплитуду колебаний, можно обеспечить оптимальный кинематический режим работы каждого решета.

Колебания качающихся решетчатых станов широко исследованы в трудах Е. С. Босого, А. Б. Лурье, А. И. Тарана, Г. Д. Терскова, М. Н. Летошнева и др. Закон движения корпуса решетчатого стана описывается уравнением М. Н. Летошнева [9]:

$$x = -r \cos \omega t, \quad (1)$$

где  $r$  – радиус кривошипа, м;  $\omega$  – угловая скорость кривошипа,  $\text{с}^{-1}$ ;  $t$  – время, с.

Предельные условия движения семян вверх и вниз, а также отрыва от поверхности решета описывается следующими выражениями:

$$K_1 = \frac{r\omega_1^2}{g} = \frac{\sin(\varphi \pm \alpha)}{\cos(\varphi \pm \alpha - \varepsilon) \cos \omega t}; \quad (2)$$

$$K_2 = \frac{r\omega_2^2}{g} = \frac{\sin(\varphi \pm \alpha)}{\cos(\varphi \pm \alpha + \varepsilon) \cos \omega t}; \quad (3)$$

$$K_0 = \frac{r\omega_0^2}{g} = \frac{\cos \alpha}{\sin(\varepsilon \pm \alpha) \cos \omega t}, \quad (4)$$

где  $\varphi$  – угол трения семенного вороха, град;  $\alpha$  – угол наклона решета, град;  $\varepsilon$  – угол направленности колебаний, град.

Недостатком представленных формул является их непригодность для описания закона движения и необходимых условий работы инерционных качающихся решет, так как в них не учитывается жесткость пружин, посредством которых решета установлены в решетчатом стане.

В БГСХА разработан решетчатый стан с инерционными качающимися решетками (рис. 2), который позволяет улучшить работу решет за счет колебаний, обеспечивающих более интенсивное перераспределение компонентов вороха, а также подбрасывание центра тяжести семян на высоту, способствующую попаданию частиц в отверстия решета [6, 7].

Решетчатый стан состоит из корпуса, подвешенного на подвесках. На кронштейнах корпуса с помощью пружин установлены решета. Корпус решетчатого стана приводится в колебательное движение от эксцентриков через шатуны.

При взаимодействии сил инерции решет и сил жесткости пружин решета получают дополнительные колебания в вертикальной плоскости.

В результате теоретических исследований получены уравнения движения плоских инерционных качающихся решет:

$$\begin{aligned} x &= -R \cos \omega t (1 + A_q \cos^2(\alpha + \varepsilon) + A_p \sin^2(\alpha + \varepsilon)), \\ y &= -R \cos \omega t \sin(\alpha + \varepsilon) \cos(\alpha + \varepsilon) (A_p - A_q), \end{aligned} \quad (5)$$

где  $A_p = \frac{\omega^2}{p^2 - \omega^2}$  и  $A_q = \frac{\omega^2}{q^2 - \omega^2}$  – коэффициенты, учитывающие влияние собственных продольных и поперечных колебаний пружин;  $p$  и  $q$  – частота собственных продольных и поперечных колебаний пружин соответственно,  $\text{с}^{-1}$ .

Из уравнений (5) можно сделать вывод, что решета совершают гармонические колебания с той же частотой, что и корпус решетного стана, но с другими амплитудами, зависящими от величины  $A_p$  и  $A_q$ .

Уравнения справедливы также при использовании плоских рессор вместо цилиндрических пружин, при этом дополнительные колебания будут происходить только в плоскости перпендикулярной поверхности решета (собственные колебания рессор учитываются коэффициентом  $A_p$ , а коэффициент  $A_q = 0$ ).

При отсутствии пружин значения коэффициентов  $A_p$  и  $A_q \rightarrow 0$ , а уравнения движения инерционных качающихся решет переходят в уравнения движения решетного стана (1).

При малых углах направленности колебаний  $\varepsilon$  (от  $0^\circ$  до  $20^\circ$ ), что соответствует практически всем решетным станам сельскохозяйственного назначения, в практических расчетах условие движения семян можно описать так:

$$K = K_B \left( 1 - \frac{K_B}{K_p} \right), \text{ или } K = \frac{K_B}{1 + \frac{K_B}{K_p}}, \quad (6)$$

где  $K_B$  – критические значения кинематического параметра при отсутствии пружин согласно формулам (2)–(4);  $K_p = \frac{rp^2}{8}$  – параметр жесткости пружин.

Из уравнения (6) следует, что  $K < K_B$ , следовательно, работа инерционных качающихся решет возможна при меньших значениях кинематического параметра, чем у существующих.

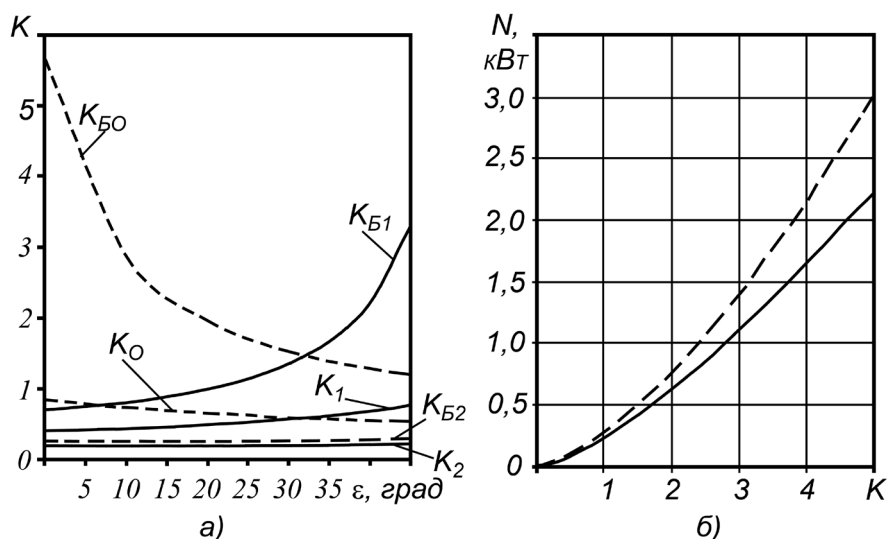
Формулы (5) и (6) могут быть использованы при проектировании решетных сепараторов, а также для выбора режима их работы в зависимости от конструктивных параметров и требуемых условий работы.

Потребная мощность привода решетного стана зависит от его массы  $m$ , угловой скорости  $\omega$  и радиуса  $r$  кривошипа. Пренебрегая массой шатуна, максимальную потребную мощность можно вычислить по следующей формуле [8]:

$$N = mr^2 \omega^3. \quad (7)$$

Для сравнения предельных значений кинематических параметров существующих решетных станов и решетного стана с инерционными качающимися решетками, при которых возможно движение частиц вверх и вниз по поверхности решета, а также их отрыв от решета, построены графики зависимости предельных значений кинематического параметра решетного стана от угла направленности колебаний (рис. 3, а), а также графики зависимости максимальной потребной мощности от кинематического параметра решетного стана (рис. 3, б).

Из графиков видно, что при использовании инерционных качающихся решет для движения вороха вверх по поверхности решета кинематический параметр решетного стана на 41–76% ниже, чем у существующих решетных станов, для движения вороха вниз – ниже на 21–23%, для отрыва от поверхности решета – ниже на 54–85%.



--- — существующие решетчатые станы; — — решетчатый стан с инерционными качающимися решетками;  
 $K_0, K_1, K_2$  — условие отрыва, движения вверх и движения вниз решетчатого стана с инерционными качающимися решетками;  
 $K_{Б0}, K_{Б1}, K_{Б2}$  — условие отрыва, движения вверх и движения вниз существующих решетчатых станов

Рис. 3. Графики зависимости предельных значений кинематического параметра решетчатого стана от угла направленности колебаний (а) и максимальной потребной мощности от кинематического параметра решетчатого стана (б)

Так как максимальная потребная мощность привода решетчатого стана зависит от кинематического параметра решетчатого стана, следовательно, его уменьшение позволяет снизить мощность, затрачиваемую на очистку семян предлагаемым решетчатым станом по сравнению с существующими на 12,7–27,2%.

### Выводы

1. Решетчатые станы имеют достаточно высокие энергозатраты – 0,65–1,61 кВт·ч/т и недостаточную производительность при очистке мелкосеменных культур вследствие низкой ориентирующей способности плоских решет при направленности колебаний близкой к горизонтальной, особенно при работе решет с круглыми отверстиями, когда проходные частицы должны принять вертикальное положение.

2. Решетчатый стан с инерционными качающимися решетками позволяет улучшить работу решет за счет дополнительных колебаний, возникающих при взаимодействии сил инерции решет и сил жесткости пружин и обеспечивающих более интенсивное перераспределение компонентов вороха, а также подбрасывание центра тяжести семян на высоту, способствующую попаданию частиц в отверстия решета.

3. В результате теоретических исследований получены уравнения движения плоских инерционных качающихся решет и граничных условий их работы. При использовании инерционных качающихся решет для движения вороха вверх по поверхности решета кинематический параметр решетчатого стана на 41–76% ниже, чем у существующих решетчатых станов, для движения вороха вниз – ниже на 21–23%, для отрыва от поверхности решета – ниже на 54–85%, что позволяет снизить мощность, затрачиваемую на очистку семян на 12,7–27,2%.

### Литература

1. Ч у р а, А. Е. Проблемы развития льноводства / А. Е. Чура // Земляробства і ахова раслін. – 2003. – № 4. – С. 9–10.
2. Выбор конструкции комбинированной молотилки-сепаратора для переработки мелкого льновороха / В. А. Шаршунов [и др.] // Ekologiczne aspekty mechanizacji produkcji roslinnej: materialy 11 Miedzynar. symp., Warszawa, 13–14 wrzesn. 2005 r. / In-t budownic., mech. i elektr. rolnictwa; Komitet Naukowy: J. Hama [i i.]. – Warszawa, 2005. – S. 168–172.
3. Комбинированная молотилка-сепаратор льновороха: пат. 1387 Респ. Беларусь, МПК А01F 11/02 / В. А. Шаршунов, В. Е. Круглень, А. Н. Кудрявцев, А. С. Алексеенко, В. И. Коцуба; заявитель В. А. Шаршунов [и др.]. – № и 20030430; заявл. 14.10.03; опубл. 30.06.04 // Афіцыйны бюл. /Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2004. – № 2. – С. 249–250.

4. Я м п и л о в, С. С. Технологическое и техническое обеспечение ресурсо-энергосберегающих процессов очистки и сортирования зерна и семян / С. С. Ямпиров. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2003. – 262 с.
5. Г о р т и н с к и й, В. В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / В. В. Гортинский, А. Б. Демский, М. А. Борискин. – М.: Колос, 1973. – 296 с.
6. К р у г л е н я, В. Е. Результаты теоретических исследований инерционных качающихся решет / В. Е. Кругленя, В. И. Коцуба, А. С. Алексеенко // Вестн. Белорус. гос. с-х. акад. – 2008. – № 4. – С. 125–129.
7. Решетный стан: пат. 2437 Респ. Беларусь, МПК В07В 1/36 / В. А. Шаршунов, В. Е. Кругленя, А. Н. Кудрявцев, А. С. Алексеенко, В. И. Коцуба; заявитель В. А. Шаршунов [и др.]. – № и 20050401; заявл. 30.06.05; опубл. 30.03.05 // Афіцыйны бюл. /Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006. – № 1. – С. 201.
8. С о к о л о в, А. Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна / А. Я. Соколов. – 4-е изд. доп. и перераб. – М.: Колос, 1975. – 496 с.
9. Л е т о ш н е в, М. Н. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчет, проектирование и испытание / М. Н. Летошнев. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Сельхозиздат, 1955. – 764 с.

*V. A. SHARSHUNOV, V. E. KRUGLENYA, A. N. KUDRYAVTSEV, A. S. ALEKSEENKO, V. I. KATSUBA*

## **RESEARCH OF PROCESS OF SEPARATION FLAX HEAP SLUGGED OSCILLATING SIEVES**

### **Summary**

As a result of theoretical research of separation of flax heap with slugged oscillating sieves equations of motion of flat slugged oscillating sieves and boundary conditions of their operation are received. When using slugged oscillating sieves for driving the heap up on the surface of a sieve the kinematic parameter of a sieve boot is 41–76% lower than one of the existing sieve boots, for driving the heap downwards it is 21–23% lower, for separating from the surface of a sieve it is 54–85% lower that allows to reduce the power to be spent on purifying the seeds by 12.7–27.2%.