

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и  
управления  
(ВСГУТУ)

УДК 631.362.333

№ госрегистрации АААА-А21

121012290015-0

Инв.№



УТВЕРЖДАЮ

Проректор университета по  
научной работе и инновациям

д-р техн. наук, проф.

Д.В. Шалбуев

2021 г.

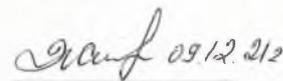
ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Математическая модель процесса сепарации компонентов зернового  
материала энергосберегающим сепаратором с боковыми каналами

по теме:

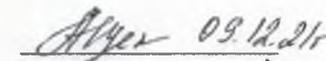
ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ ОЧИСТКИ ЗЕРНА

/Заместитель начальника  
Управления научных  
исследований

  
(подпись, дата)

В.П. Мазуренко

Директор института пищевой  
инженерии и биотехнологии  
канд. биол. наук, доц.

  
(подпись, дата)

А.В. Щекотова

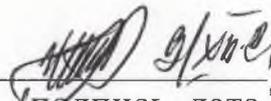
Руководитель темы  
д-р техн. наук, проф.

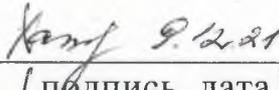
  
(подпись, дата)

С.С. Ямпиров

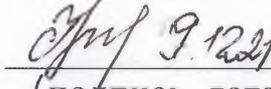
Улан-Удэ 2021

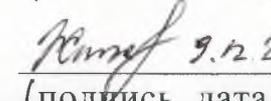
## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

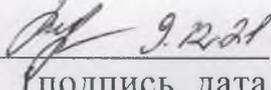
Руководитель темы  
д-р техн. наук, проф.  С.С. Ямпиров  
(подпись, дата)

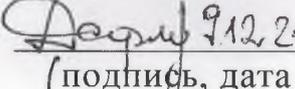
Исполнители темы:  
канд. техн. наук,  
доцент  Г.Ж. Хандаикова  
(подпись, дата)

канд. техн. наук,  
доцент  Ж.Б. Цыбенов  
(подпись, дата)

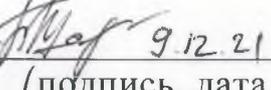
канд. техн. наук,  
доцент  В.Б. Балданов  
(подпись, дата)

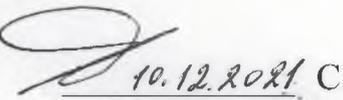
преподаватель  А.О. Жигжитов  
(подпись, дата)

учебный мастер  С.Ж. Гылыкова  
(подпись, дата)

аспирант  А.Ж. Дармаев  
(подпись, дата)

аспирант  А.В. Стукалова  
(подпись, дата)

аспирант  Б.Н. Шарапов  
(подпись, дата)

Нормоконтроль  С.В. Патрахин  
(подпись, дата)

## РЕФЕРАТ

Отчет 22 страницы, 6 рисунков, 15 источников.

### ЗЕРНО, ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ ОЧИСТКИ ЗЕРНА, ГРАВИТАЦИОННЫЙ СЕПАРАТОР, ГРЕБЕНКИ, БОКОВЫЕ КАНАЛЫ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ЗЕРНА

Объект исследования – процесс изучения просеиваемости различных компонентов зернового материала через энергосберегающий сепаратор для очистки зерна с боковыми каналами, использующий силы гравитации частиц зернового материала.

Цель работы – разработка математической модели процесса сепарации компонентов зернового материала энергосберегающим сепаратором с боковыми каналами.

Анализ теоретических и экспериментальных исследований очистки зерна на энергосберегающем сепараторе для очистки зерна с боковыми каналами показал, что разработанная математическая модель адекватно описывает процесс разделения частиц зернового материала на энергосберегающем сепараторе для очистки зерна с боковыми каналами, в которых установлены каскады гребенок.

Разработанный энергосберегающий сепаратор с боковыми каналами для очистки зерна позволяет увеличить эффективность выделения мелких примесей на 6-17%, за счет деления зернового материала на два потока и понижения удельной нагрузки на гребенки, тем самым позволяет уменьшить высоту энергосберегающего сепаратора.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
Глава 1 Обоснование рациональной схемы энергосберегающего сепаратора для очистки зерна с боковыми каналами.....	6
Глава 2 Математическая модель процесса сепарации компонентов зернового материала энергосберегающим сепаратором с боковыми каналами.....	12
Заключение.....	20
Список использованных источников .....	21

## ВВЕДЕНИЕ

Известные изменения, произошедшие за последние годы, в сельскохозяйственном производстве, требуют коренных преобразований в послеуборочной обработке зерна.

Обеспечение крупных и средних хозяйств зерносемяочистительной техникой не превышает 35%, при этом малые и фермерские хозяйства вовсе не имеют требуемой техники. Зерноочистительная техника физически изношена и не соответствует современным условиям зернопроизводства. Поэтому необходимо создание новых зерноочистительных машин, максимально адаптированных к многообразию условий современного сельскохозяйственного производства.

В связи с этим, разработка и обоснование основных параметров новых сепарирующих рабочих органов и машин, адаптированных к многообразию условий производства, работающих без использования электроэнергии, на принципах самотечного движения материала под действием гравитационных сил, является актуальной проблемой.

## Глава 1 Обоснование рациональной схемы энергосберегающего сепаратора для очистки зерна с боковыми каналами

В настоящее время существует класс зерноочистительных машин, которые используют силы гравитации частиц зернового материала – энергосберегающие сепараторы для очистки зерна. Такие устройства получили название самотечных или гравитационных (так как зерновой материал движется под действием силы тяжести).

История разработки энергосберегающих сепарирующих машин насчитывает около 100 лет. В течение этого срока разрабатывались и создавались зерноочистительные машины, в которых был исключен привод решета, а материал перемещался благодаря силе тяжести.

Еще в 1914 г. в Канаде был получен патент на создание зернового сепаратора, использующего самотечный принцип перемещения материала. В качестве рабочих органов в нем применены плоские решета, установленные последовательно друг под другом под наклоном, так что они образуют зигзагообразный канал. Зерновой материал очищается, перемещаясь с одного решета на другое [1].

Известны различные конструкции гравитационных сепараторов:

- гравитационный зерноочиститель с зигзагообразным каналом, в котором используются наклонные решета с прямоугольными отверстиями [2];
- гравитационные зерноочистители различных конструкций, отличающихся формой решета (прямоугольные, трапециевидные) [3, 4];
- гравитационные сепараторы с коническими поверхностями [5,6];
- гравитационные сепараторы с клиновидными просеивающими отверстиями и консольно закрепленными пальцами [7,8];
- гравитационные сепараторы с консольно закрепленными пальцами и с дополнительно просеивающими каналами [9,10];

Во ВСГУТУ разработаны энергосберегающие сепараторы гравитационного типа с гребенками, установленными друг под другом [11], энергосберегающий сепаратор для очистки зерна с использованием сил гравитации с двумя каналами образованные каскадом сепарирующих гребенок [12].

Анализ конструкций энергосберегающих сепараторов, использующих силы гравитации частиц зернового материала показал, что использование большого количества гребенок, расположенных друг под другом увеличивает высоту энергосберегающего сепаратора, а также при падении частиц зернового материала на нижерасположенную гребенку они отскакивают и перемещаются на определенное расстояние вдоль гребенки и поэтому эффективность очистки падает.

Поэтому необходимо разработать энергосберегающий сепаратор для очистки зерна использующий силы гравитации частиц зернового материала с меньшей высотой.

Для уменьшения высоты энергосберегающего сепаратора разработали сепаратор для очистки зерна с боковыми каналами, схема которой изображена на рисунке 1 и технологическая схема на рисунке 2.

Энергосберегающий сепаратор (рис.1) содержит загрузочный бункер 1; заслонку, регулирующую подачу материала; в главном канале 4 установлены зигзагообразно в вертикальном канале сепарирующие гребенки 2 для выделения крупной примеси, по бокам которого установлены сепарирующие гребенки 3 для выделения мелкой примеси, образующие два боковых зигзагообразных канала, параллельных главному, 5 левый боковой канал и 6 правый боковой канал. Над сепарирующими гребенками 2, 3 размещены сплошные листы 7. Под гребенками 2 и 3 установлены скатные доски 9 а над ними установлены отражатели 8. Сепаратор содержит патрубки вывода разделенных фракций: патрубков III для вывода сходовой фракции (крупной) с сепарирующей гребенки 2, патрубки II для вывода проходовой

фракции (средней) с гребенки 2, патрубки I для вывода проходовой фракции (мелкой) с гребенки 3.

Сепарирующие гребенки (рис.3) 3, 4 выполнены в виде гребенок, представляющих собой набор пальцев, изготовленных из проволоки 2 мм. Пальцы жестко зафиксированы в двух местах за счет контактной сварки. Это позволяет в процессе эксплуатации сохранять жестко расстояние между пальцами, что повышает эффективность очистки зерновой смеси от примеси. исходный материал

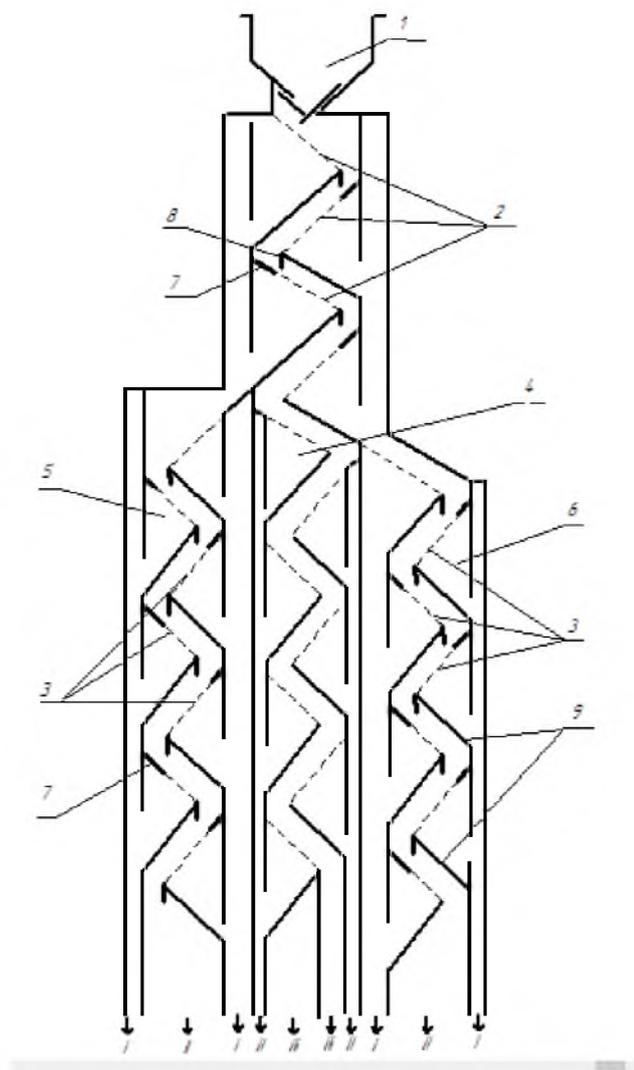


Рисунок 1 – Схема энергосберегающего сепаратора для очистки зерна с боковыми каналами:

- 1 – бункер; 2 – гребенки для выделения крупной примеси; 3 – гребенка для выделения мелкой примеси; 4 – центральный канал; 5 – левый боковой канал;
- 6 – правый боковой канал; 7 – сплошные листы; 8 – отражатели питатель;
- 9 – скатные доски; I – патрубки для выделения мелкой примеси; II – патрубки для выделения основного зерна; III – патрубки для выделения крупной примеси

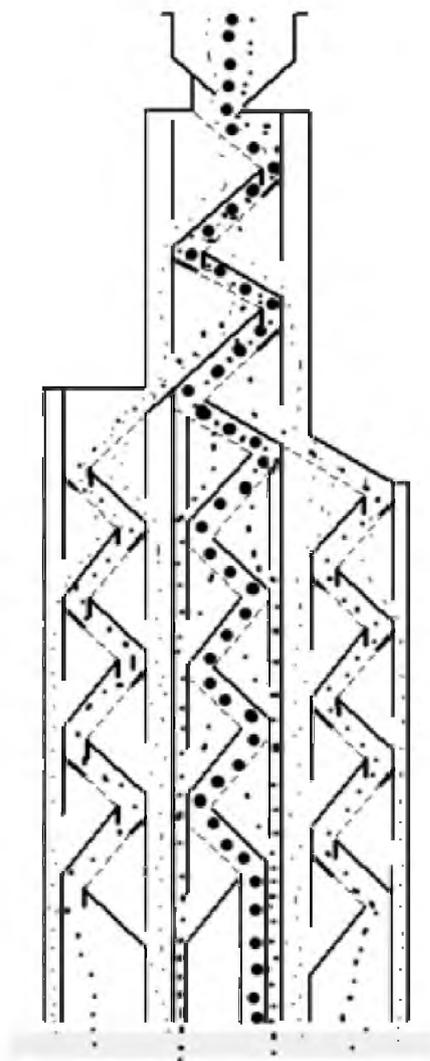


Рисунок 2 – Технологическая схема энергосберегающего сепаратора для очистки зерна с боковыми каналами:

· – мелкая примесь; • – основное зерно; ● – крупная примесь

Расстояние между пальцами сепарирующей гребенки 3 составляет 4 мм, а сепарирующей гребенки 4 составляет 2 мм. Ширина рабочей части сепарирующих гребенок 300 мм, длина – 155 мм, угол наклона гребенок к горизонту составляет  $45^\circ$ . В зигзагообразных каналах может быть установлено одновременно до 6 гребенок для выделения крупной примеси и до 6 гребенок в боковых каналах для выделения мелкой примеси. Общий вид сепарирующих гребенок представлен на рисунке 4.

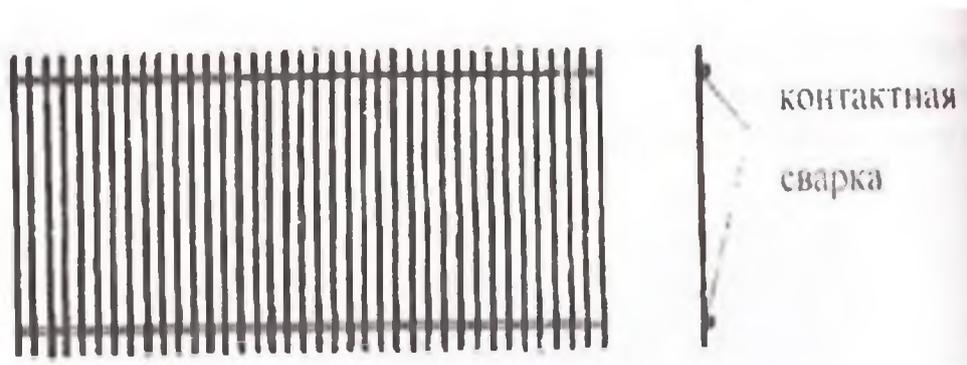


Рисунок 3 – Сепарирующая гребенка энергосберегающего сепаратора для очистки зерна с использованием сил гравитации

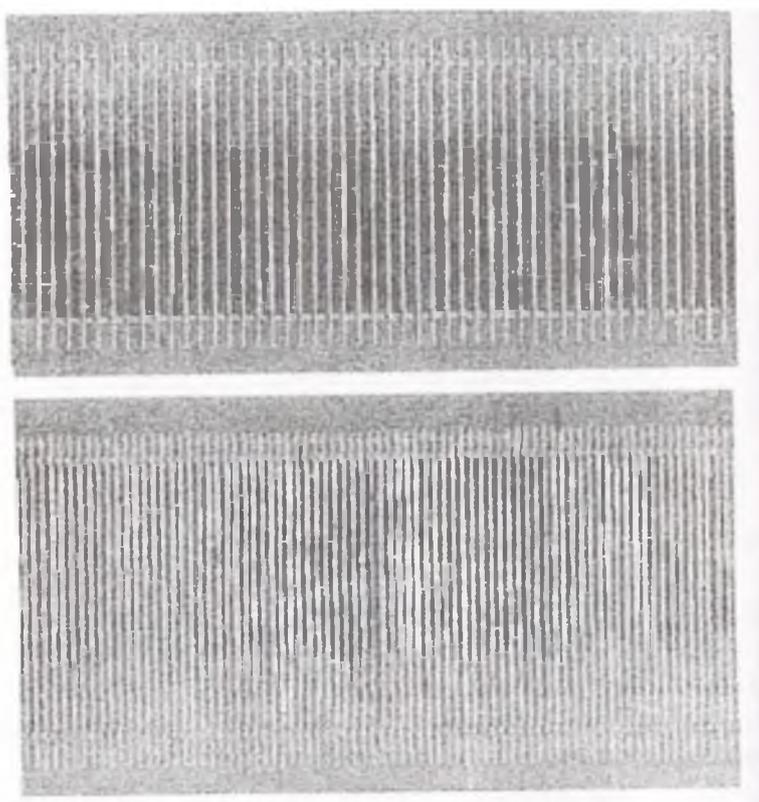


Рисунок 4 – Общий вид сепарирующих гребенок

Работа энергосберегающего сепаратора для очистки зерна осуществляется следующим образом. Исходный зерновой материал, подаваемый в загрузочный бункер 1, под действием сил гравитации движется вниз и попадает на сплошную скатную доску 5, выполненную из листовой стали Ст3. Длина скатной доски 45...55 мм. Сплошная скатная доска предназначена для устранения забиваемости сепарирующих гребенок

зерновым материалом, для создания слоя зерна определенной толщины и изменения направления движения материала. Частицы зернового материала скатываются по сплошной скатной доске 5 и попадают на первое сепарирующее устройство 3 (гребенку). Зазор между пальцами гребенки 3 выбран достаточным, чтобы подлежащие отделению крупные частицы не прошли между пальцами, а другие, более мелкие (основное зерно и мелкая примесь), могли пройти. В результате движения со скатной доски 5 и движения материала по гребенке 3 часть проходовой фракции выделяется и попадает на сепарирующую гребенку для выделения мелкой примеси 4, а остальная часть материала под действием сил гравитации сходит по гребенке 3 на вторую противоположно установленную скатную доску 5. Процесс разделения продолжается при попадании зернового материала со скатной доски 5 на вторую гребенку 3 аналогично первой, затем на третью скатную доску 5 и гребенку 3 и так далее до последней гребенки. Количество гребенок 3 и скатных досок 5, установленных в сепараторе, определяется требуемой полнотой выделения сходовой фракции. Сходовая фракция выводится из сепаратора патрубком III.

Проходовая фракция, выделившись, в результате движения материала по гребенке 3 попадает в патрубок I для выделения мелкой примеси. Зазор между пальцами гребенки 3 выбран таким, чтобы подлежащие отделению мелкие частицы имели возможность пройти между пальцами, а другие, более крупные (основное зерно) попали в патрубок II для выделения основного зерна.

Таким образом, разработанный энергосберегающий сепаратор для очистки зерна отличается от всех существующих тем что имеет:

– главный канал (для выделения крупных примесей) в нём установлены сепарирующие гребенки, выполненные из прутков, стали у которых зазор между прутками выбран так, чтобы частица основного зерна и частица мелкой примеси проходили в отверстия сепарирующей гребенки, а

частицы крупной примеси не просеивались в отверстия сепарирующей гребёнки;

– каналы расположенные сбоку главным каналам (правый и левый каналы) для выделения мелких примесей на сепарирующих гребёнках, у которых зазор между прутками выбран так, чтобы частица мелкой примеси проходят в отверстия, а частица основного зерна не проходят. Эти каналы, которые расположены сбоку главного канала позволяет уменьшить толщину слоя зернового материала в два раза, увеличить эффективность выделения мелких примесей. Тем самым уменьшить высоту энергосберегающего сепаратора;

– напротив сплошных листов установлены отражатели, чтобы частицы зернового материала ударившись о сплошные скатные доски не подпрыгнули и не улетели вдоль гребенки. Это позволяет увеличить эффективность выделения частиц, которые проходят в отверстия гребенок.

Глава 2 Математическая модель процесса сепарации компонентов зернового материала энергосберегающим сепаратором с боковыми каналами

Для определения оптимальных параметров энергосберегающего сепаратор для очистки зерна с боковыми каналами необходимо разработать процесс просеивания компонентов математической моделью.

Рассмотрим процесс сепарации зернового материала энергосберегающим сепаратор для очистки зерна с боковыми каналами предполагая, что зерновой материал состоит из трёх компонентов: основной компонент – зерно (пшеница) составляет до 85 % по массе исходного зернового материала, крупная и мелкая примесь до 15 %.

Энергосберегающий сепаратор для очистки зерна имеет:

– главный канал (для выделения крупных примесей) в нём установлены сепарирующие гребенки, выполненные из прутков, стали у которых зазор между прутками выбран так, чтобы частица основного зерна и

частица мелкой примеси проходила в отверстия сепарирующей гребёнки, а частицы крупной примеси не просеивались в отверстия сепарирующей гребёнки;

– каналы расположенные сбоку главным каналам (правый и левый каналы) для выделения мелких примесей на сепарирующих гребёнках, у которых зазор между прутками выбран так, чтобы частица мелкой примеси проходила в отверстия, а частица основного зерна не проходила.

Также предположим, что процесс сепарации компонентов в энергосберегающем сепараторе осуществляется в однородных условиях, т.е. частицы основного зерна одинаковы и параметры сепарирующих гребёнок одинаковы. При этом полнота просеивания частиц основного зерна (пшеницы)  $\varepsilon_1^n$  на гребёнке длиной  $d_1$  на первой гребёнке, при подаче зернового материала слоем определённой толщины имеет вид формула:

$$\varepsilon_1^n = Q^n (1 - e^{-\mu_n d_1}) \quad (1)$$

где  $\mu_n$  – интенсивность просеивания основного зерна (пшеницы),  $\text{qm}^{-1}$ ;

$d_1$  – длина первой гребёнки главного канала,  $\text{qm}$ ;

$Q^n$  – исходное количество основного зерна (пшеницы).

Интенсивность просеивания  $\mu_n$  зависит от многих факторов: физико-механических свойств основного зерна (пшеницы), количество зернового материала на гребёнке и характера распределения частиц в слое материала, параметров сепарирующей гребёнки (зазора между прутками поверхности гребёнок, угла наклона гребёнок к горизонту и конструкции сепарирующих гребёнок).

Полнота просеивания основного зерна на второй гребёнке определяется следующей формулой:

$$\varepsilon_2^n = \varepsilon_1^n \cdot (1 - e^{-\mu_n d_2}) \quad (2)$$

где  $d_2$  – длина второй гребёнки главного канала,  $\text{qm}$ .

Полнота просеивания основного зерна на третьей гребёнке определяется формулой:

$$\varepsilon_3^{\Pi} = [\varepsilon_1^{\Pi} \cdot (1 - e^{-\mu_{\Pi} d_2})] \cdot (1 - e^{-\mu_{\Pi} d_3}) \quad (3)$$

Полнота просеивания основного зерна на n-гребёнке главного канала определяется формулой:

$$\varepsilon_n^{\Pi} = \{[\varepsilon_1^{\Pi} \cdot (1 - e^{-\mu_{\Pi} d_2})] \cdot (1 - e^{-\mu_{\Pi} d_3}) \cdot \dots \cdot (1 - e^{-\mu_{\Pi} d_{n-1}})\} \cdot (1 - e^{-\mu_{\Pi} d_n}) \quad (4)$$

Аналогично определяем полноту просеивания крупной примеси на n-ой гребёнке главного канала по следующей формуле:

$$\varepsilon_n^K = \{[\varepsilon_1^K \cdot (1 - e^{-\mu_K d_2})] \cdot (1 - e^{-\mu_K d_3}) \cdot \dots \cdot (1 - e^{-\mu_K d_{n-1}})\} \cdot (1 - e^{-\mu_K d_n}) \quad (5)$$

где  $\varepsilon_1^K = Q^K(1 - e^{-\mu_K d_1})$  – полнота просеивания крупной примеси в отверстие первой гребёнки;

$Q^K$  – исходное количество крупной примеси, поступившей на первую гребёнку главного канала;

$\mu_K$  – интенсивность просеивание частиц крупной примеси через гребёнку главного канала,  $qm^{-1}$ .

Частицы основного зерна (пшеницы) и частицы мелкой примеси пройдя в отверстия первой сепарирующей гребенки главного канала, поступают сначала в вертикальный патрубок, расположенный слева от главного канала, а затем вместе с проходовыми частицами (основного зерна и мелкой примеси), которая проходит через отверстия третьей гребёнки главного канала поступает на первую сепарирующую гребенку левого канала.

Количество основного зерна, поступившее в вертикальный патрубок расположенный слева от главного канала составляет.

$$Q_{л}^{\Pi} = (\varepsilon_1^{\Pi} + \varepsilon_3^{\Pi}) - \varepsilon_2^{\Pi} \quad (6)$$

Полнота просеивания основного зерна через гребёнку расположенную в левом канале имеет вид:

$$\varepsilon_{л1}^{\Pi} = Q_{л}^{\Pi}(1 - e^{-\mu_{\Pi}^l d_{л1}}) \quad (7)$$

где  $\mu_{\Pi}^l$  – интенсивность просеивания основного зерна (пшеницы) в отверстии гребёнки левого канала,  $qm^{-1}$ ;

$d_{л1}$  – длина гребёнки левого канала,  $qm$ .

Полноту просеивания основного зерна через n-ю гребёнку расположенную в левом канале определяют следующие формулой.

$$\varepsilon_{лn}^п = \left\{ \left[ Q_{л}^п (1 - e^{-\mu_{п}^л d_{1л}}) \right] \cdot (1 - e^{-\mu_{п}^л d_{2л}}) \right\} \cdot \dots \cdot (1 - e^{-\mu_{п}^л d_{(n-1)л}}) \cdot (1 - e^{-\mu_{п}^л d_{nл}}) \quad (8)$$

где  $d_{(n-1)л}$  – длина (n-1) гребёнки левого канала,  $\mu\text{м}$ ;

$d_{nл}$  – длина n-ой гребёнки левого канала,  $\mu\text{м}$ .

Количество мелкой примеси, поступившее в вертикальный патрубок расположенный слева от главного канала, а затем поступившее на первую гребёнку левого канала имеет вид.

$$Q_{л}^м = (\varepsilon_1^м + \varepsilon_3^м) - \varepsilon_2^м \quad (9)$$

Полнота просеивание мелкой примеси через гребенку расположенную в левом канале имеет вид.

$$\varepsilon_{л1}^м = Q_{л}^м (1 - e^{-\mu_{м}^л d_{1л}}) \quad (10)$$

где  $\mu_{м}^л$  – интенсивность просеивания мелкой примеси в отверстие гребёнки левого канала,  $\mu\text{м}^{-1}$ ;

Полноту просеивания частиц мелкой примеси через вторую гребенку расположенную в левом канале можно определить формулой:

$$\varepsilon_{л2}^м = [Q_{л}^м (1 - e^{-\mu_{м}^л d_{1л}})] \cdot (1 - e^{-\mu_{м}^л d_{2л}}) \quad (11)$$

где  $d_{2л}$  – длина второй гребёнки левого канала,  $\mu\text{м}$ .

Полноту просеивания частиц мелкой примеси через n-ю гребенку расположенную в левом канале определяются следующие формулой:

$$\varepsilon_{лn}^м = \left\{ \left[ Q_{л}^м (1 - e^{-\mu_{м}^л d_{1л}}) \right] \cdot (1 - e^{-\mu_{м}^л d_{2л}}) \right\} \cdot \dots \cdot (1 - e^{-\mu_{м}^л d_{(n-1)л}}) \cdot (1 - e^{-\mu_{м}^л d_{nл}}) \quad (12)$$

где  $d_{nл}$  – длина n-ой гребёнки левого канала,  $\mu\text{м}$ .

Полнота просеивания частиц мелкой примеси  $\varepsilon_1^м$  на первой гребенке длиной  $d_1$  при подаче зернового материала слоем определенной толщину имеет вид:

$$\varepsilon_1^м = Q^{(м)} (1 - e^{-\mu_{м}^л d_1}) \quad (13)$$

где  $\mu_m$  – интенсивность просеивания мелкой примеси,  $qm^{-1}$ ;

$Q^M$  – исходное количество мелкой примеси:

$d_1$  – длина первой гребенки главного канала,  $qm$ .

Далее зерновой материал поступает сначала на сплошную скатную доску меняют направление движения, а затем поступает на вторую гребёнку главного канала. Полнота просеивания частиц мелкой примеси  $\varepsilon_2^M$  на второй гребенке длиной  $d_2$ - определяется по следующей формуле:

$$\varepsilon_2^M = (Q^{(M)} - Q^{(M)}e^{-\mu_m d_1}) \cdot (1 - e^{-\mu_m d_2}) \quad (14)$$

где  $d_2$  – длина второй гребенки главного канала,  $qm$ .

Полнота просеивание мелкой примеси  $\varepsilon_3^M$  на третьей гребёнке главного канала определяется по формуле:

$$\varepsilon_3^M = [(Q^{(M)} - Q^{(M)}e^{-\mu_m d_1}) \cdot (1 - e^{-\mu_m d_2})] \cdot (1 - e^{-\mu_m d_3}) \quad (15)$$

где  $d_3$  – длина третьей гребенки главного канала,  $qm$ .

Полнота просеивание мелкой примеси  $\varepsilon_4^M$  на четвертой гребёнке главного канала имеет вид:

$$\varepsilon_4^M = \{[(Q^{(M)} - Q^{(M)}e^{-\mu_m d_1}) \cdot (1 - e^{-\mu_m d_2})] \cdot (1 - e^{-\mu_m d_3})\} \cdot (1 - e^{-\mu_m d_4}) \quad (16)$$

где  $d_4$  – длина четвертой гребенки главного канала,  $qm$ .

Количество основного зерна, поступившее в вертикальный патрубок расположенный справа от главного канала составляет:

$$Q_{\Pi}^{\Pi} = (\varepsilon_2^{\Pi} + \varepsilon_4^{\Pi}) - \varepsilon_2^{\Pi} - \varepsilon_2^1 \quad (17)$$

где  $\varepsilon_4^{\Pi}$  – полнота просеивания основных компонентов зерна на четвертой гребенке определяется формулой:

$$\varepsilon_4^{\Pi} = \{[\varepsilon_1^{\Pi} \cdot (1 - e^{-\mu_{\Pi} d_2})] \cdot (1 - e^{-\mu_{\Pi} d_3})\} \cdot (1 - e^{-\mu_{\Pi} d_4}) \quad (18)$$

где  $d_4$  – длина четвертой гребенки главного канала,  $qm$ .

Частицы основного зерна (пшеницы) и частицы мелкой примеси проходя в отверстие второй гребёнки главного канала, поступают сначала в вертикальный патрубок расположенный справа от главного канала, а затем вместе с проходными частицами (основное зерно и мелкая примесь),

которые прошли через отверстия четвертой гребёнки главного канала поступают на первую сепарирующую гребёнку первого канала.

Полнота просеивания частиц основного зерна через гребёнку расположенную в правом канале имеет вид:

$$\varepsilon_{п1}^п = Q_{п}^п(1 - e^{-\mu_{п}^п d_{1п}}) \quad (19)$$

где  $\mu_{п}^п$  – интенсивность просеивания основного зерна в отверстия гребенки правого канала,  $qm^{-1}$ ;

$d_{1п}$  – длина первой гребенки правого канала,  $qm$ .

Полноту просеивания основного зерна через вторую гребёнку расположенную в правом канале определяется формулой:

$$\varepsilon_{п2}^п = [ Q_{п}^п(1 - e^{-\mu_{п}^п d_{1п}})] \cdot (1 - e^{-\mu_{п}^п d_{2п}}) \quad (20)$$

$d_{2п}$  – длина второй гребенки правого канала,  $qm$ .

Полноту просеивания основного зерна через  $n$ -ю гребенку расположенную в правом канале можно определить по формуле:

$$\varepsilon_{пn}^п = \left\{ \left[ Q_{п}^п(1 - e^{-\mu_{п}^п d_{1п}})] \cdot (1 - e^{-\mu_{п}^п d_{2п}}) \right] \dots \cdot (1 - e^{-\mu_{п}^п d_{(n-1)п}}) \right\} \cdot (1 - e^{-\mu_{п}^п d_{nп}}) \quad (21)$$

где  $d_{(n-1)п}$  – длина  $(n-1)$  гребенки правого канала,  $qm$ .

$d_{2п}$  – длина  $n$ -ой гребенки правого канала,  $qm$ .

Количество мелкой примеси, поступившее в вертикальный патрубок расположенный справа от главного канала, а затем поступившее на первую гребёнку правого канала имеет вид:

$$Q_{п}^м = (\varepsilon_2^м + \varepsilon_4^м) - \varepsilon_2^м - \varepsilon_2^м \quad (22)$$

где  $\varepsilon_4^м$  – полнота просеивания мелкой примеси через четвертую гребенку главного канала.

Полнота просеивание мелкой примеси через гребёнку расположенную в правом канале имеет вид:

$$\varepsilon_{п1}^м = Q_{п}^м(1 - e^{-\mu_{м}^п d_{1п}}) \quad (23)$$

где  $\mu_{м}^п$  – интенсивность просеивания мелко примеси в отверстие гребенок правого канала.  $qm^{-1}$ ;

$d_{1п}$  – длина первой гребенки правого канала, мм.

Полнота просеивания частиц мелкой примеси через вторую гребенку расположенную в правом канале определяется формулой:

$$\varepsilon_{п2}^M = [Q_{п}^M(1 - e^{-\mu_M^п d_{1п}})] \cdot (1 - e^{-\mu_M^п d_{2п}}) \quad (24)$$

$d_{2п}$  – длина второй гребенки правого канала, мм.

Полнота просеивания частиц мелкой примеси через n-ю гребенку расположенную в правом канале определяется формулой:

$$\varepsilon_{пn}^M = \left\{ \left[ Q_{п}^M(1 - e^{-\mu_M^п d_{2п}}) \right] \cdot (1 - e^{-\mu_M^п d_{2п}}) \right\} \dots \cdot (1 - e^{-\mu_M^п d_{(n-1)п}}) \cdot (1 - e^{-\mu_M^п d_{nп}}) \quad (25)$$

$d_{nп}$  – длина n-ой гребенки правого канала, мм.

Для проверки разработанной математической модели описывающей процесс просеивания частиц зернового материала энергосберегающим сепаратором с боковыми каналами были проведены экспериментальные исследования при следующих параметрах:

- количество гребенок в центральном канале с отверстиями 4 мм – 10 шт;
- количество гребенок в боковых каналах с отверстиями 2 мм – 7 шт;
- ширина рабочей части сепарирующих гребенок 300 мм;
- длина сепарирующих гребенок – 155 мм;
- угол наклона гребенок к горизонту для выделения мелких примесей составляет  $42^\circ$ ;
- угол наклона гребенок к горизонту для выделения крупных примесей составляет  $32^\circ$ ;
- удельная производительность 10 т/ч.м.

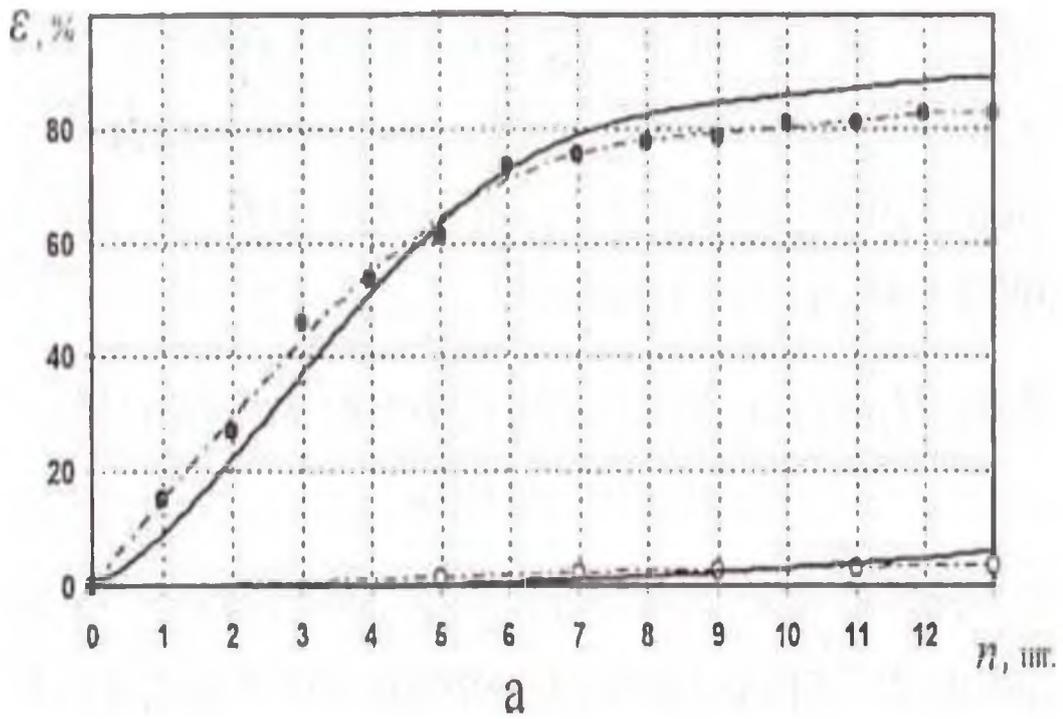


Рисунок 5 - - - - экспериментальные; — — теоретические;

• — мелкие примеси; о — основное зерно (пшеница);  $b = 2,0$  мм — зазор между прутками гребенки

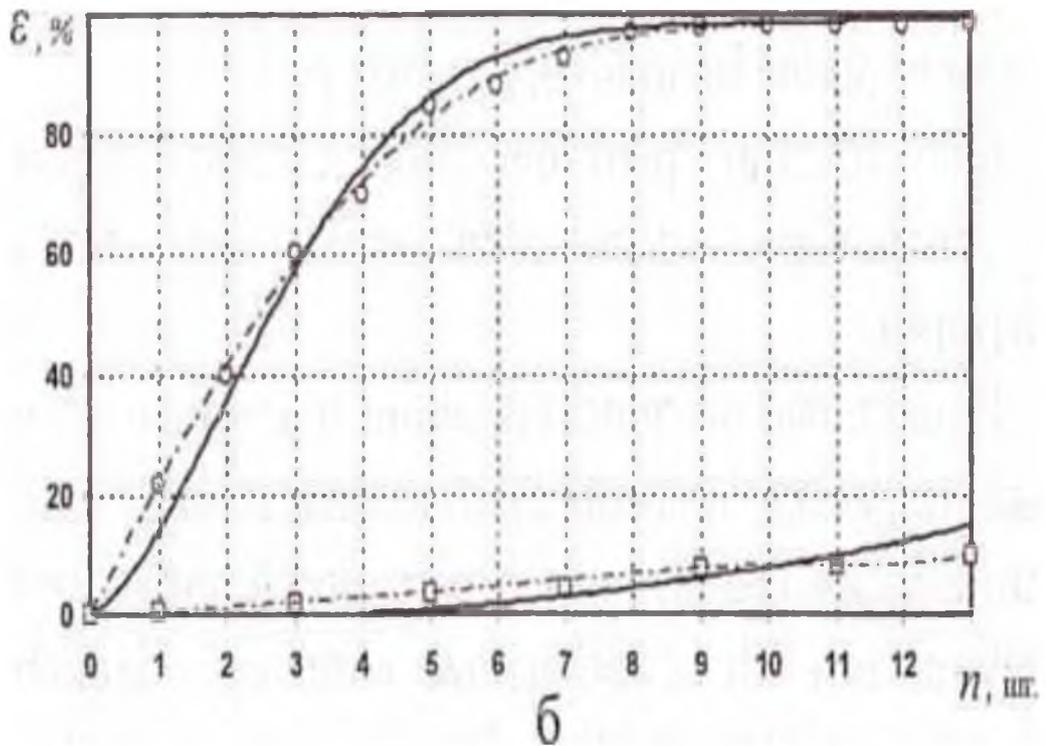


Рисунок 6 - - - - экспериментальные; — — теоретические; о — основное зерно (пшеница); □ — крупные примеси;  $b = 4,0$  мм — зазор между прутками гребенки

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Разработанный энергосберегающий сепаратор с боковыми каналами для очистки зерна позволяет увеличить эффективность выделения мелких примесей на 6-17%, за счет деления зернового материала на два потока и понижения удельной нагрузки на гребенки, тем самым уменьшить высоту энергосберегающего сепаратора.

2 Разработанная математическая модель адекватно описывает процесс просеивания компонентов зернового материала через энергосберегающий сепаратор для очистки зерна с боковыми каналами, в которых установлены каскады гребенок.

3 Разработанный энергосберегающий сепаратор для очистки зерна с боковыми каналами позволяет уменьшить энергопотребления в послеуборочной обработке зерна.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 А.с. 845449 (Канада). Grain separator / Otto A. Burgeson, 1914.
- 2 А.с. 2203152. Grain separator / Johnson H.L., 1938.
- 3 Проспект Канады. BOX 5170. Monton, ALTA-TGC 4G2.
- 4 Проспект Канады. MAG-K Zig-Zag Screener, 1983.
- 5 А.с. 2097150 (РФ). Гравитационный сепаратор / Мерчалов С.В., Сундеев А.А., 1997.
- 6 А.с. 2217244 (РФ). Гравитационный сепаратор / Баранов Ю.Н., Мерчалов С.В., Сундеев А.А., 2002.
- 7 А.с. 2130341 (РФ). Сепаратор / Авдеев Н.Е., Чернухин Ю.В., Некрасов А.В., 1999.
- 8 А.с. 2200636 (РФ). Сепаратор сыпучих материалов / Липский Б.П., Мухаметжанов Н.Ф., 2001.
- 9 А.с. 1609516 (СССР), МКИ В 07 В 1/04. Сепаратор сыпучих материалов / Зюлин А.Н., Анискин В.И., 1990.
- 10 А.с. 2121878 (РФ). Сепаратор сыпучих материалов / Зюлин А.Н., 1998.
- 11 А.с. 2148439 (РФ). Сепаратор сыпучих материалов / Ямпиллов С.С., Дондоков Ю.Ж., Зюлин А.Н., Подкорытов Д.В., 1998.
- 12 А.с. 2237526 (РФ). Сепаратор сыпучих материалов / Ямпиллов С.С., Цыбенков Ж.Б., Зюлин А.Н., Гыпылов М.С., 2003.
- 13 Ямпиллов С.С., Бадмаева Н.Д. Анализ работы сепараторов для очистки зерна, работающих без использования электроэнергии. Материалы национальной конференции «ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА». Издательство ВСГУТУ г. Улан-Удэ 2019 г. С. 189-194.
- 14 Ямпиллов С.С., Бадмаева Н.Д. Обоснование конструкции энергосберегающего сепаратора для очистки зерна. Материалы международной научно-практической конференции «Инженерное

обеспечение и технический сервис в АПК. Изд-во БГСХА. Улан-Удэ. 2019. С. 29-33.

15 Ямпиров С.С., Усенко Р.А., Бадмаева Н.Д. Пути интенсификации послеуборочной обработки зерна. Материалы международной научно-практической конференции «Инженерное обеспечение и технический сервис в АПК. Изд-во БГСХА. Улан-Удэ. 2019. С. 105-108.