

Тогда горизонтальная составляющая тягового сопротивления рабочего органа:

$$R_{x2} = \frac{F_2 \cdot l_F}{l_R}, \quad (4)$$

где  $F_2$  – сила, возникающая при сжатии пружины предохранителя, Н;

$l_F$  и  $l_R$  – плечи сил  $F_2$  и  $R_2$  соответственно, м.

#### Результаты и их обсуждение

Полученное выражение (4) в совокупности с выражениями (1-3) позволяет определить по измеренному опытным путем углу обратной фаски лезвия лапы среднее значение горизонтальной составляющей тягового сопротивления каждого рабочего органа, которую воспринимает сцепное устройство трактора. Однако уравнение (4) получено при некоторых допущениях о том, что в процессе работы рама сеялки-культиватора и стойка сошника являются абсолютно жесткими. Также мы пренебрегли силой тяжести и трением, возникающим в сопряжениях.

В действительности при работе под действием динамических сил в конструкции возникают упругие деформации, дающие некоторую прибавку к углу  $\alpha$ , которую весьма сложно оценить теорети-

чески, поэтому необходима экспериментальная проверка высказанного предположения.

#### Заключение

Таким образом, после экспериментальной проверки можно будет теоретически определить тяговое сопротивление конкретных рабочих органов в любых почвенно-климатических условиях, зная конструкцию стойки и исследуя геометрию изнашивания рабочего органа.

#### Библиографический список

1. Горячкин В.П. Собрание сочинений / В.П. Горячкин. – М.: ОГИЗ-Сельхозгиз, 1948. – Т. 6. – 194 с.
2. Огрызков Е.П. Агротехнологические основы абразивного изнашивания лезвий лемехов / Е.П. Огрызков, В.Е. Огрызков, П.В. Огрызков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – № 11. – С. 44-45.
3. Синеоков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.
4. Ткачев В.Н. Износ и долговечность рабочих органов почвообрабатывающих машин / В.Н. Ткачев. – М.: Машиностроение, 1964. – 167 с.



УДК 631.55.631.1:636.086.1

С.П. Присяжная,  
М.М. Присяжный,  
И.М. Присяжная

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И РАССЕИВАНИЯ СОЕВОЙ СОЛОМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ

**Ключевые слова:** измельчитель, на правитель, соевая солома, процесс измельчения, режущий аппарат, потребляемая мощность, воздушный поток, относительная скорость, ширина рассеивания, почва, плодородие, повышение урожайности.

В хозяйствах Амурской области соя в структуре посева составляет более 40%.

Ее посевы в 2008 г. были размещены на площади 360 тыс. га, урожайность составила 0,9 т/га. Многолетние исследования биологической урожайности сои показывают, что отношение массы зерна (100%) к массе соломы составляет 61-72%.

Избыток ресурса незерновой части урожая сои используется нерационально из-за несовершенства применяемых технологий уборки.

Ограниченное использование соевой соломой (11%) в структуре грубых кормов при скармливании их в животноводстве связано с большими затратами на ее свлакивание, погрузку и транспортировку к животноводческим комплексам, а также дополнительными затратами на приготовление ее к скармливанию [1].

Это объясняется грубой структурой соевой соломой, так как толщина стебля составляет 3-10 мм, которая в неизмельченном виде непригодна для кормов.

Кормовую ценность незерновой части урожая сои составляет солома, кормовое достоинство которой – 0,56 к.е., а соломой – 0,36 к.е. Поэтому в современных условиях наиболее перспективной является уборка сои со сбором соломы в транспортное средство, с измельчением и рассеиванием соломы [2].

Использование измельченной соломой в качестве непосредственного удобрения с заделкой под плуг или фрезерованием повышает урожай зерна сои на 2,9%, яч-

меня – на 2,4, пшеницы в последствии на 7% [3]. Внесение в почву соломой увеличивает массу корневой системы сои на 11-25%, а клубеньков – на 33-52%.

Схема комбайновой уборки сои со сбором соломы в транспортное средство, измельчением и рассеиванием соломы приведена на рисунке 1.

При ходе с соломотряса комбайна «Енисей-1200 Р» солома поступает в измельчитель соломы «ИРВС-1200», который содержит корпус 1, отражающий экран 2, валец-уплотнитель 3, направитель соломы 4, измельчающий барабан 5 и противорежущими брусом 6 с ножами сегментного типа.

Сходящая с соломотряса соевая солома втягивается в зазор между вращающимся валцом-уплотнителем и поступает в измельчающий барабан. Подпор, заземление и уплотнение соевых стеблей при резании обеспечивает определенный размер резания стеблей, допустимый технологическими требованиями.

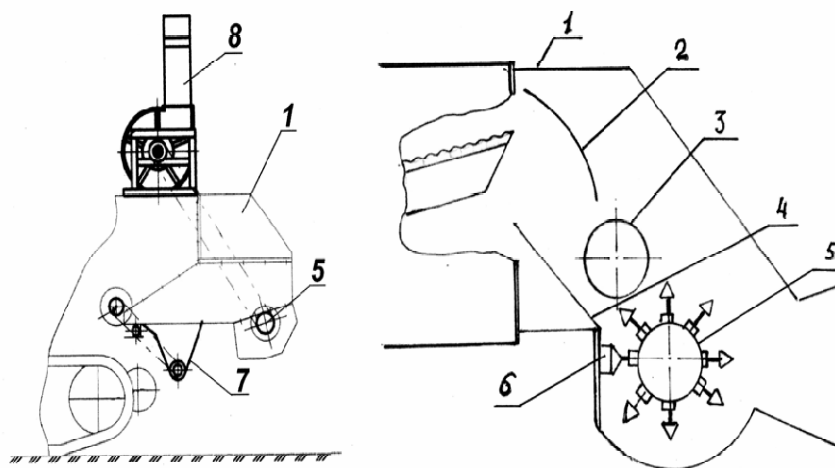


Рис. 1. Схема комбайновой уборки сои со сбором соломы, измельчением и рассеиванием соломы

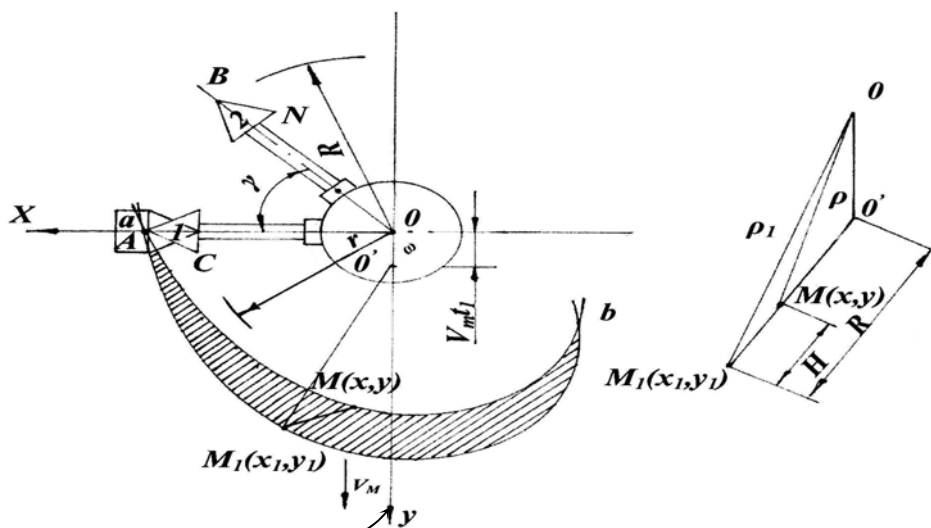


Рис. 2. Кинематическая схема ротора режущего аппарата сегментного типа

Измельчение, перемещение и рассеивание соломы осуществляется ротационными режущими аппаратами сегментного типа, размещёнными под углом  $\gamma$  по всей длине барабана, вращающегося с большой скоростью в вертикальной плоскости. Выступающие противорежущие сегменты жёстко закреплены на регулируемом брусе (рис. 2).

Траектории любой точки каждого сегмента представляют собой трохойды, а уравнения траекторий точек А и С вершины и основания первого сегмента, вращающегося с постоянной угловой скоростью  $\omega$ , примут следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} x_A &= R \cos \omega t \\ y_A &= V_m t + r \sin \omega t \end{aligned} \right\}; \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} x_C &= r \cos \omega t \\ y_C &= V_m t + r \sin \omega t \end{aligned} \right\}; \quad (2)$$

где  $R = \frac{D}{2}$  – радиус и диаметр ротора по вершине сегмента;

$$h = R \sqrt{2 + \frac{V_m^2}{R^2} (t_1 - t)^2 - 2 \cos \left[ \omega(t_1 - t) - \gamma + \frac{2V_m}{R} (t_1 - t) \sin(\omega t_1 - \gamma) - \sin \omega t \right]}. \quad (5)$$

После соответствующих преобразований получим:

$$\frac{V_m}{R} (t_1 - t) - \sin \omega t + \operatorname{tg}(\omega t_1 - \gamma) \cos \omega t = 0. \quad (6)$$

Поскольку найти зависимость  $h = f(t)$  из системы уравнений (5) и (6) в явной форме не представляется возможным, обратимся к численным методам решения.

В разработанной конструкции измельчителя соломы конструктивными параметрами являются:

$$D = 2R = 0,6 \text{ м}; m = 10; \gamma = \frac{\pi}{5} = 36^\circ;$$

$$\begin{aligned} V_m &= 3,4 \text{ м/с}; \omega = 75,4 \text{ с}^{-1}, \\ n &= 2400 \text{ об/мин.} \end{aligned}$$

Из уравнения (6) найдём функциональную зависимость  $t_1 = f(t)$ . Для этого переписем уравнение (6) в следующем виде с численными значениями входящих в него величин и задаваясь значениями  $t$ , найдём соответствующие им значения  $t_1$  из выражения:

$$0,174 - 11,4614 t_1 = \operatorname{tg}(75,4 t_1 - \frac{\pi}{5}). \quad (7)$$

Для решения этого уравнения применим графический метод и, используя программу Advanced Grapher, построим графики правой и левой частей уравнения отдельно (рис. 3). Точка пересечения графиков определяет абсциссу  $t_1$  искомого приближенного решения.

$$r = \frac{d}{2} \text{ – радиус и диаметр ротора по}$$

основанию сегмента;

$V_m$  – поступательная скорость соломы;

$\omega t = \varphi$  – угол поворота ротора.

Эти уравнения для соответствующих точек В и N сегмента 2, отстоящего от сегмента 1 на угол  $\gamma = \frac{2\pi}{m}$ , где  $m$  – число

сегментов в случае их равного расположения на рабочем органе имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} x_B &= R \cos(\omega t - \gamma) \\ y_B &= V_m t + R \sin(\omega t - \gamma) \end{aligned} \right\}; \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} x_N &= r \cos(\omega t - \gamma) \\ y_N &= V_m t + r \sin(\omega t - \gamma) \end{aligned} \right\}; \quad (4)$$

Абсолютную величину вектора  $h$  найдем по координатам его вершины на основании уравнений (1) и (2) трохойд:

Результаты вычислений, изображённые графически на рисунке 4, показывают, что с достаточной степенью точности уравнение  $t_1 = f(t)$  может быть аппроксимировано следующим уравнением прямой линии:

$$t_1 = t_0 + at, \quad (8)$$

где для наших условий  $t = 0,08$ ;  $a = 1,025$ .

При определении мощности, необходимой для привода измельчающего аппарата, следует учитывать сумму рабочих высот всех одновременно участвующих в измельчении сегментов.

Если известно удельное сопротивление измельчению  $P$ , приходящееся на единицу рабочей высоты сегментов, то необходимый крутящий момент на рабочем органе может быть определён по следующей формуле:

$$M_{\text{кр}} = \sum_{i=0}^{m-1} \operatorname{phi} \left( R - \frac{h_i}{2} \right) = \frac{\pi V_m}{m \omega} \quad (9)$$

$$\sum_{i=0}^{m-1} \left[ D - \frac{2\pi V_m}{m \omega} \sin \left( \gamma - \frac{2\pi}{m} i \right) \right] \sin \left( \gamma - \frac{2\pi}{m} i \right)$$

а потребляемая мощность

$$N' = M_{\text{кр}} \omega. \quad (10)$$

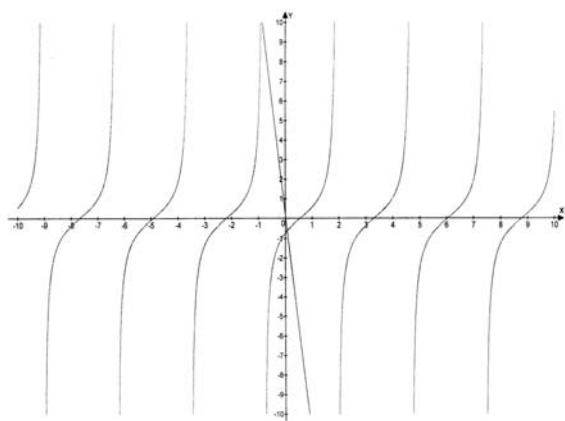


Рис. 3. Графическое решение уравнения (7)

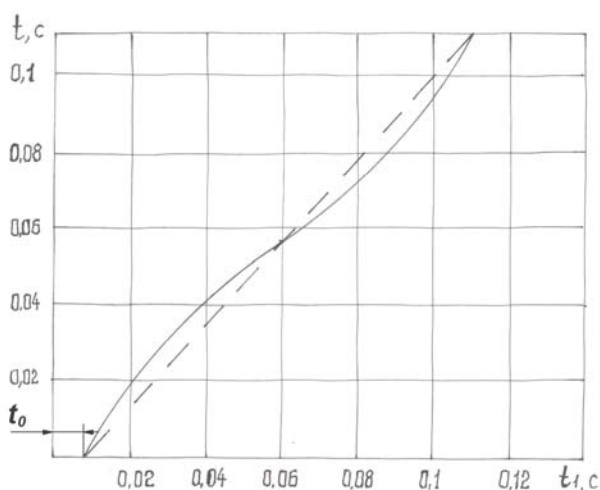


Рис. 4. Аппроксимация трансцендентного уравнения прямой

Используя лабораторные данные по определению усилия измельчения  $P_{max}$  стеблей сои от их влажности и толщины и произведя расчеты по формулам (9) и (10), определили потребляемую мощность при измельчении в зависимости от скорости движения комбайна с измельчителем и ширины захвата жатки при уборке сои (рис. 5).

Анализируя результаты опытов влияния количества измельчаемых растений в единицу времени при различной ширине жатки и скорости движения комбайна (рис. 3), отметим, что мощность, потребляемая на измельчение, увеличивается почти в два раза при увеличении ширины захвата жатки и скорости движения комбайна.

В начале уборки, когда влажность стеблей составляет 30-35%, мощность, потребляемая на измельчение при семи-метровой жатки и скорости движения комбайна 1,39-1,94 м/с, составляет от 1,4 до 2,8 кВт за счет изменения количе-

ства стеблей, поступающих на измельчение. В конце уборки, когда влажность стеблей составляет 15%, мощность на измельчение увеличивается от 2,2 до 4,4 кВт. Потребляемая мощность составляет от 2,9 до 4,6% от мощности комбайна и на снижение производительности существенно не влияет.

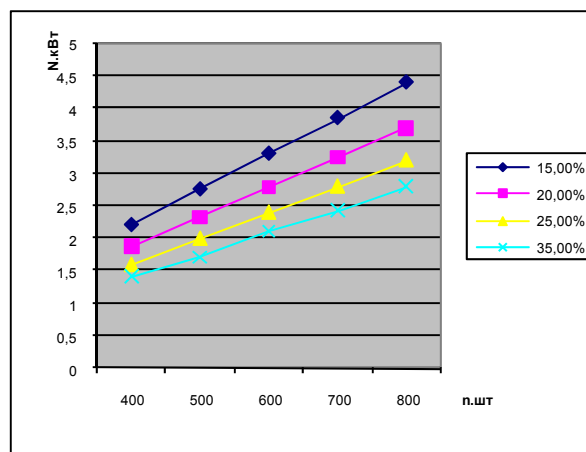


Рис. 5. Потребляемая мощность в зависимости от количества измельчаемых растений и влажности стеблей

Проведенными исследованиями установлено, что разработанный измельчитель на 90% измельчает солому до заданной агротребованием фракции, что является необходимым для повышения гумуса почвы (табл.).

Таблица  
Удельный вес и скорость витания соевой соломы различной фракции

Фракционный состав, мм	Удельный вес, %	Критическая скорость, м/с	Коэффициент парусности
до 50	73,2	0,5-0,8	15,3-39,2
50-100	16,8	0,8-1,2	6,8-15,3
100-150	7,4	1,2-1,6	3,8-6,8
150-200	2,1	1,6-2,0	2,45-3,8
> 200	0,5	2,0-2,8	1,25-3,8

Нагнетательный воздушный поток, перемещающий и рассеивающий солому по полю, возникает в измельчителе комбайна в результате непрерывного движения режущих ножей сегментного типа, равномерно размещенных под углом  $\gamma$  по всей длине барабана ротора и вращающихся в вертикальной плоскости. Исследования показали, что добиться при резки на 100% заданной техническими условиями фракции соломы невозможно (табл.). Поэтому для перемещения соломы получаемых фракций рабочая ско-

рость перемещения и рассеивания должна быть выше их критической скорости.

Воздушный поток, создаваемый измельчающим барабаном, вместе с частицами соломы направляется через разбрасывающий щит, разделенный направляющими и установленный под углом  $\gamma$  к горизонту, где вся масса измельченной соломы при поступлении в направлятель-рассеиватель разбивается на несколько потоков и проходит через каналы рассредоточено без внутреннего трения.

На частицы соломы, попадающие в поток с некоторой начальной скоростью  $C_0$ , направленной под углом  $\beta$  к скорости потока, будут действовать:

- 1) сила тяжести частиц соломы  $G = mg$ , определяемая весом частиц и направленная вниз по вертикали;
- 2) сила сопротивления  $R$  воздушного потока, определяемая относительной скоростью  $v_0$  частиц соломы и направленная в сторону, противоположную скорости  $v_0$ .

Уравнение движения частиц соломы из условия действующих сил примет вид

$$m \frac{dV}{dt} = mg - kV^2, \quad (11)$$

где  $m$  – масса частиц соломы;  
 $V$  – скорость частиц соломы;  
 $g$  – ускорение свободного падения;  
 $k$  – коэффициент пропорциональности.  
 При выходе из направлятеля под действием указанных сил измельченные частицы соломы будут двигаться в потоке по некоторым траекториям. Общий характер движения частиц измельченной соевой соломы при выходе из направлятеля можно рассматривать как полное движение, состоящее из переносного, вместе с потоком, и относительного.

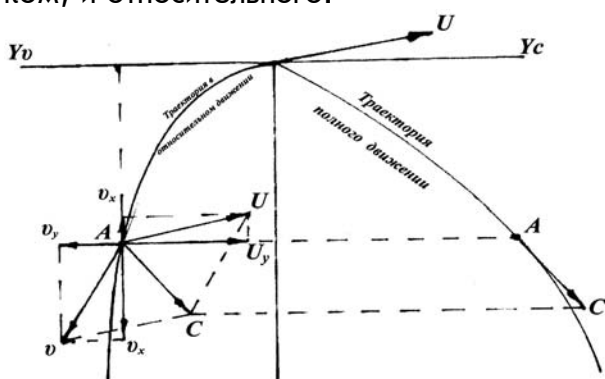


Рис. 6. Траектория полного движения измельченных частиц соломы в наклонном воздушном потоке

Траекторией движения частиц соломы (рис. 6) является парабола, уравнение которой можно записать:

$$\chi = \frac{gy^2}{2U_{y_0}^2}. \quad (12)$$

Конечным путем движения частиц соломы является горизонтальная плоскость (поверхность поля), расстояние от которой до оси  $OY$  равно  $H$ . Для того чтобы найти траекторию падения частиц соломы на поверхность поля, необходимо знать, где движущаяся точка (А) пересекает поверхность поля.

$$\chi = H, \quad (13)$$

где  $H$  – высота рассеивания.

Из выражений (12) и (13) находим:

$$\frac{gy^2}{2U_{y_0}^2} = H, \quad (14)$$

откуда ширина рассеивания

$$y = U_{y_0} \sqrt{\frac{2H}{g}}. \quad (15)$$

Установив оптимальную скорость выхода измельченных частиц соломы из рассеивателя, определяем ширину рассеивания соломы по полю (рис. 7).

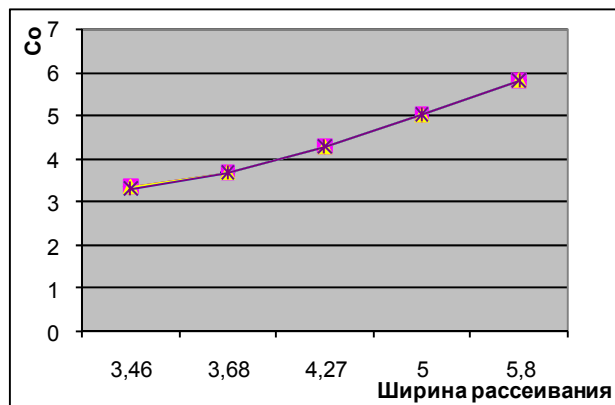


Рис. 7. Изменение ширины рассеивания частиц измельченной соломы в зависимости от скорости их выхода из направлятеля-рассеивателя

Таким образом, к факторам, влияющим на ширину рассеивания измельченных частиц, относятся конструктивные и режимные.

Конструктивными параметрами являются: высота установки измельчителя-рассеивателя, угол установки отсекателей рассеивателя, угол размещения режущих сегментов барабана-ротора и ширина расстановки сегментов противорежущего бруса.

Режимными параметрами являются:

- 1) рабочая скорость движения комбайна;
- 2) частота вращения барабана-ротора;
- 3) высота резания соломы.

#### Библиографический список

1. Пугачев Ю.А. Состояние и проблемы развития соеперерабатывающей отрасли в Амурской области / Ю.А. Пугачев // Перспективы производства и переработки сои в Амурской области. – Благовещенск, 1998. – С. 7-14.

2. Присяжная С.П. Совершенствование технологии сбора половы при комбайновой уборке сои / С.П. Присяжная, М.М. Присяжный, А.П. Дыкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М., 2007. – № 9. – С. 14-15.

3. Макаров В.Н. Влияние основной обработки почвы с внесением соломы на урожай зерна сои и пшеницы / В.Н. Макаров // Науч.-техн. бюл. ВНИИ сои. – 1977. – Вып. 5, 6. – С. 41-49.

4. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины / М.Н. Летошнев. – Л.: Сельхозгиз, 1949. – 856 с.

5. Долгов И.А. Математические методы в земледельческой механике / И.А. Долгов, Г.К. Васильев. – М.: Машиностроение, 1967. – 202 с.

6. Цехместер М.Р. Копирующий режущий аппарат с качающимися сегментами для скашивания сои: автореф. дис... канд. техн. наук (05.20.01) / Цехместер Михаил Романович. – Новосибирск, 1989. – 16 с.



УДК 631:362.7

**В.И. Курдюмов,  
А.А. Павлушин,  
И.Н. Зозуля**

## АСПЕКТЫ ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА В УСТАНОВКАХ КОНТАКТНОГО ТИПА

**Ключевые слова:** тепловая обработка зерна, термическое обеззараживание, установка контактного типа, энергосбережение, нагревательные элементы, теоретические исследования, шнековый транспортирующий рабочий орган, температура поверхности кожуха, режимные параметры, пропускная способность.

Тепловая обработка сельскохозяйственных материалов находит широкое применение в различных процессах и технологиях производства, переработки и хранения продукции растениеводства. Проведенный анализ показывает, что тепловая обработка широко распространена во многих отраслях сельскохозяйственного производства.

На рисунке 1 представлена классификация процессов тепловой обработки сельскохозяйственных материалов, при-

меняемых в производстве и переработке продукции растениеводства.

Эффективность процесса тепловой обработки зерна в основном зависит от конструкции установки, температурного режима и требуемого качества подготовки зерна.

На сегодняшний день более десятка иностранных фирм представляют свое зерносушильное оборудование на российском рынке. Однако очень важно то, что данная импортная техника адаптирована под европейские условия производства, переработки и хранения зерна, которые отличаются от условий российских. К примеру, средний показатель засоренности зерна в России – 15%, влажности – 22-24%, а в Европе – 1-2% и 19-20% соответственно. Поэтому, чтобы довести зерно российских производителей до базисных кондиций, используя импортную технику, требуется несколько раз выпол-