

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО Донской ГАУ)

АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ – ФИЛИАЛ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» В Г. ЗЕРНОГРАДЕ
(Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ)

Кафедра «Механизация растениеводства»

А.Ю. Попов

МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Учебное пособие

Зерноград – 2016

12.5 Теория цилиндрических триеров

По длине семена разделяют на ячеистых триерах и решетках с круглыми отверстиями.

Типы триеров. Триеры бывают цилиндрические, дисковые, лопастные и ленточные (пластинчатые).

Рабочим органом триера является ячеистая поверхность, а рабочим элементом – ячейка.

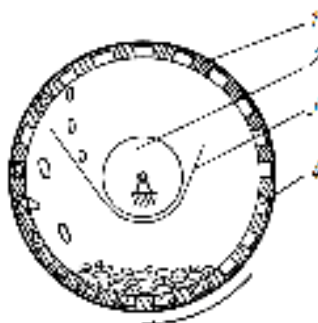
Для сортирования семян по длине используют также желобчатые решета с круглыми отверстиями, при этом над решетом, параллельно ему, устанавливают с зазором глухую плоскость. Плоскость не позволяет семенам располагаться длинной осью перпендикулярно поверхности решета, что исключает возможность деления семян по ширине. Поэтому проходом через отверстия решета идут короткие семена, длина которых меньше диаметра отверстий решета. Сходом с решета идут длинные семена, длина которых больше диаметра отверстий решета.

Наибольшее распространение для деления семян по длине получили цилиндрические триеры.

Рабочий процесс триера. Триеры, отделяющие от основной культуры мелкие примеси и дробленое зерно, принято называть кукольными, а отделяющие длинные примеси – овсюжными.

Технологический процесс цилиндрического триера осуществляется следующим образом. Семена подаются в триерный цилиндр с его торца. При вращении триерного цилиндра семена, длина которых меньше диаметра ячеек цилиндра, поднимаются ячейками, а затем вываливаются в лоток, откуда шнеком транспортируются из триера. Длинные семена раньше вываливаются из ячеек, за счет вращения цилиндра постепенно перемещаются к выходному торцу цилиндра и удаляются из триера. Для активизации осевого перемещения семян используются вспомогательные устройства, например, лемешки. Триерные цилиндры устанавливаются под углом к горизонту 0...2 градуса.

Схема технологического процесса цилиндрического триера показана на рисунке 12.15.



1 – триерный цилиндр; 2 – шнек; 3 – лоток; 4 – ячейка цилиндра

Рисунок 12.15 – Схема технологического процесса цилиндрического триера

Критическая частота вращения триерного цилиндра. Для определения критической частоты вращения триерного цилиндра составим схему сил, действующих на семя, находящееся внутри вращающегося триерного цилиндра, при наивысшем положении семени (рисунок 12.16).

На семя действует совокупность сил: mg – сила тяжести семени; N – сила нормального давления цилиндра на семя; U – центробежная сила.

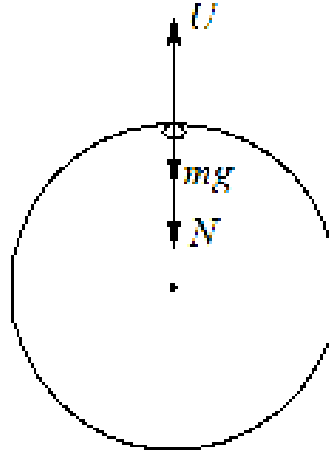


Рисунок 12.16 – Силы, действующие на семя в цилиндрическом триере

Из рисунка 12.16 следует, что

$$U = mg + N. \quad (12.26)$$

Причем центробежная сила равна:

$$U = m\omega^2 r, \quad (12.27)$$

где m – масса семени, кг;

ω – угловая скорость цилиндра, рад/с;

r – радиус цилиндра, м.

В момент отрыва семени от цилиндра нормальное давление цилиндра на семя равно нулю, а угловая скорость равна критической угловой скорости, т.е. $N = 0$, $\omega = \omega_{кр}$.

Поэтому в момент отрыва

$$m\omega_{кр}^2 r = mg. \quad (12.28)$$

Следовательно,

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{r}}, \quad (12.29)$$

а показатель кинематического режима отрыва $k_{кр} = 1$.

Рабочий показатель кинематического режима должен быть меньше критического, т.е. $k_p < k_{кр}$.

Критическая частота вращения триерного цилиндра

$$n_{кр} = \frac{30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{r}}, \text{ мин}^{-1}, \quad (12.30)$$

или

$$n'_{кр} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{r}}, \text{ с}^{-1}. \quad (12.31)$$

Рабочая частота вращения триерного цилиндра должна быть меньше критической.

Нижняя граница зоны скольжения. Семя, помещенное внутрь триерного цилиндра (начальное положение A_0) при вращении цилиндра с угловой скоростью меньшей критической угловой скорости будет перемещаться вместе с цилиндром до некоторого положения A_1 . При дальнейшем повороте цилиндра будет происходить скольжение семени относительно цилиндра.

Нижняя граница зоны скольжения определится углом поворота цилиндра α_1 и точкой A_1 .

Для определения нижней граница зоны скольжения рассмотрим равновесие сил, действующих на семя в момент нахождения его в точке A_1 (рисунок 12.17).

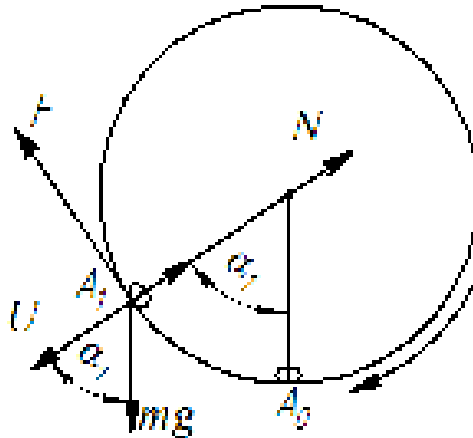


Рисунок 12.17 – Силы, действующие на семя, находящееся в цилиндре (нижняя граница зоны скольжения)

При этом на семя действует совокупность сил: mg – сила тяжести семени; N – сила нормального давления цилиндра на семя; U – центробежная сила; F – сила трения цилиндра о семя; α_1 – угол затаскивания семени.

Проектируя силы на ось, касательную к цилиндру, получим

$$F = mg \sin \alpha. \quad (12.32)$$

Проецируя силы на ось, направленную по радиусу цилиндра, получим

$$N = U + mg \cos \alpha_1. \quad (12.33)$$

Сила трения

$$F = N \operatorname{tg} \varphi, \quad (12.34)$$

где φ – угол трения семян о поверхность цилиндра.

Подставив в (12.34) значения из (12.33) и (12.27), получим

$$F = m(\omega^2 r + g \cos \alpha_1) \operatorname{tg} \varphi. \quad (12.35)$$

Подставив значение F из (12.35) в (12.32), получим

$$mg \sin \alpha_1 = m(\omega^2 r + g \cos \alpha_1) \operatorname{tg} \varphi \quad (12.36)$$

или

$$\sin \alpha_1 - \cos \alpha_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega^2 r}{g} \operatorname{tg} \varphi. \quad (12.37)$$

Обозначим $\frac{\omega^2 r}{g} = k$ – показатель кинематического режима.

Преобразовав, получим

$$\sin(\alpha_1 - \varphi) = k \cdot \sin \varphi. \quad (12.38)$$

Отсюда угол, определяющий нижнюю границу зоны скольжения:

$$\alpha_1 = \varphi + \arcsin(k \cdot \sin \varphi). \quad (12.39)$$

Границы зоны выпадения. Цилиндрический триер имеет зону выпадения, в которой семена из ячеек выпадают в лоток. Нижняя граница зоны выпадения ограничивается углом α_3 поворота триерного цилиндра (рисунок 12.18).

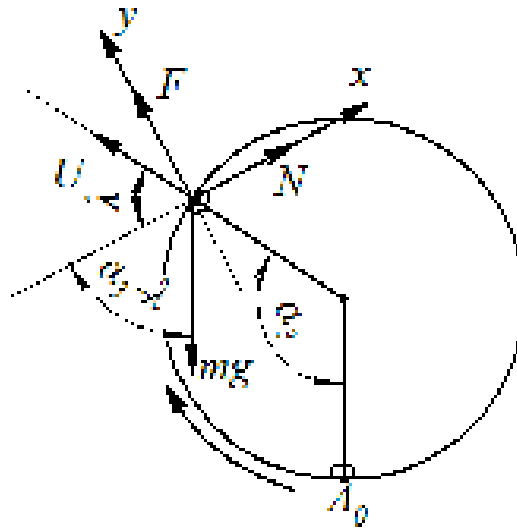


Рисунок 12.18 – Силы, действующие на семя, находящееся в ячейке триера (нижняя граница зоны выпадения)

Определим нижнюю границу зоны выпадения – угол α_3 . Для этого рассмотрим равновесие сил в момент начала выпадения семени из ячейки.

Выбираем оси координат: y – по образующей ячейки; x – перпендикулярно к образующей.

Зная, что $\sum X = 0$ и $\sum Y = 0$, получим

$$F = mg \sin(\alpha_3 - \lambda) - U \sin \lambda. \quad (12.40)$$

$$N = mg \cos(\alpha_3 - \lambda) - U \cos \lambda, \quad (12.41)$$

где α_1 – минимальный угол выпадения;

λ – угол между нормалью к стенке ячейки и радиусом цилиндра.

Зная определение силы трения, подставим в (12.34) значение N из (12.41) и получим

$$F = (mg \cos(\alpha_3 - \lambda) + U \cos \lambda) \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (12.42)$$

Приравнивая выражения (12.40) и (12.42), получим

$$mg \sin(\alpha_3 - \lambda) - U \sin \lambda = (mg \cos(\alpha_3 - \lambda) + U \cos \lambda) \operatorname{tg} \varphi. \quad (12.43)$$

Зная, что $U = m\omega^2 r$ преобразовав, получим

$$\sin(\alpha_3 - \lambda - \varphi) = k \sin(\lambda - \varphi), \quad (12.44)$$

отсюда

$$\alpha_3 = \lambda + \varphi + \arcsin[k \sin(\lambda - \varphi)]. \quad (12.45)$$

Углом α_3 определяется нижняя граница зоны выпадения.
Верхняя граница зоны выпадения определится углом

$$\alpha_4 = \frac{\pi}{2} + \lambda. \quad (12.46)$$

В случае, когда стенка ячеей перпендикулярна поверхности цилиндра
($\lambda = \frac{\pi}{2}$),

$$\alpha_3 = \frac{\pi}{2} + \varphi + \arcsin(k \cdot \cos \varphi), \quad (12.47)$$

а верхняя граница зоны выпадения определится углом $\alpha_4 = \pi$.

Выбрасывание частиц из ячейки происходит по-разному: при условии $N = 0$ частицы движутся как тело, брошенное под углом $\pi/2 - \alpha$ к горизонту, а при $N > 0$ они выскальзывают из ячейки, попадают на поверхность цилиндра и движутся по ней. Частицы не будут попадать в лоток, поэтому необходимо установить такой режим работы, при котором в момент выбрасывания нормальная реакция равнялась бы нулю.

Считая, что в момент выскальзывания частица переходит с поверхности ячейки на поверхность цилиндра, то нормальная реакция ячейки триера равна:

$$N = G \cdot \sin(\omega t) + P_j. \quad (12.48)$$

Приняв $P_j = m_3 \omega^2 r$ при $\omega t = \pi/2 + \alpha$ и $N = 0$, а также зная показатель кинематического режима работы триера

$$k_T = \frac{\sin(\omega t - \beta - \varphi)}{\sin(\beta + \varphi)}, \quad (12.49)$$

где β – угол между нормальной реакцией ячейки N и центробежной силой U , получим

$$k_T = \sin \alpha. \quad (12.50)$$

При $k_T = 1$ (угол $\alpha = \pi/2$) зерно достигает самого верхнего положения, где абсолютная скорость направлена горизонтально. В таком положении частица не может выскользнуть из ячейки, так как траектория ее свободного движения выходит за пределы цилиндра, поэтому k_T должен быть меньше единицы. В существующих триерах $k_T = 0,3 \dots 0,7$.

Частицы, оторвавшиеся от ячейки, совершают свободное движение с начальной скоростью $u = \omega r$, направленной под углом $\pi/2 - \alpha$ к горизонту.

В осях координат X и Y (рисунок 12.19) с началом в точке O проекции скорости:

$$\begin{cases} u_x = \omega r \sin \alpha_1; \\ u_y = \omega r \cos \alpha_1 - gt. \end{cases} \quad (12.51)$$

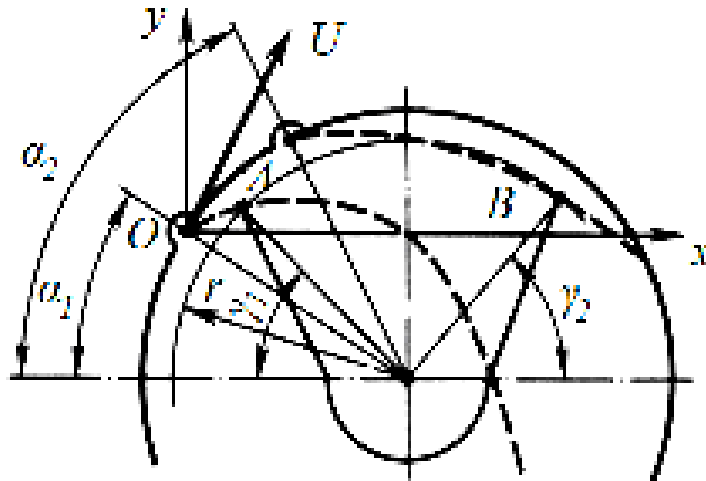


Рисунок 12.19 – Схема к определению приемного лотка триера

Тогда перемещения по осям координат выразим следующими уравнениями:

$$\begin{cases} x = \omega r t \sin \alpha_1; \\ y = \omega r t \cos \alpha_1 - \frac{gt^2}{2}. \end{cases} \quad (12.52)$$

Решим совместно эти уравнения. Получим траекторию полета зерна, выпавшего из ячейки, характеризуемую уравнением параболы

$$y = x \operatorname{ctg} \alpha_1 - \frac{x^2}{2k_T r (\sin \alpha_1)^2}. \quad (12.53)$$

Частицы, выпавшие из ячеек, должны попасть в лоток, поэтому необходимо, чтобы они оказались в пределах между передней и задней стенками лотка. Определим положение этих стенок, исходя из условия, что траектории самой нижней и верхней точек выпадания, характеризуемые углами α и α_2 , пересекают переднюю и заднюю стенки в конечных точках A и B .

Положение точек A и B зависит от углов γ_1 и γ_2 , которые определяются коэффициентом трения f частиц по ячейкам и показателем кинематического режима k_T работы триера. С увеличением f и k_T угол γ_1 возрастает, а угол γ_2 уменьшается.

Для кукольного триера зерноочистительных машин $\gamma_1 = 41^\circ$ и овсюжного – 50 и 85° .

Если в кукольном триере установить лоток с углом $\gamma_1 < 41^\circ$, то отходы основной культуры увеличатся. При уменьшении угла γ_1 чистота выделения примесей улучшается в кукольном и ухудшается в овсюжном триерах.

В зерноочистительных машинах положение лотков можно изменять в широком диапазоне. Оптимальное положение лотка подбирают непосредственно в работе.

Основные размеры и производительность триера. Введем следующие обозначения: δ – масса материала, выбираемого одной ячейкой, кг; d – диаметр ячейки, м; ρ – плотность материала, кг/м³; q – подача материала, кг/с; q_k – подача коротких зерен, кг/с; b_k – процент коротких зерен; z – число яче-

ек; m – перемычка между ячейками, м; A – ячеистая поверхность, м²; r – радиус цилиндра, м; l – длина цилиндра, м.

Зная процент коротких примесей в исходном материале, находим

$$q_k = \frac{b_k q}{100}. \quad (12.54)$$

Масса материала, выбранного одной ячейкой,

$$\delta = \alpha d^3 \rho, \quad (12.55)$$

где α – коэффициент, учитывающий степень заполнения ячейки.

Для размещения коротких зерен в 1 с потребуется ячеек

$$z_p = \frac{q_k}{\delta} = \frac{q_k}{\alpha d^3 \rho}. \quad (12.56)$$

Действительное число ячеек

$$z_d = \frac{z_p}{\mu} = \frac{q_k}{\alpha \mu d^3 \rho}, \quad (12.57)$$

где μ – коэффициент, учитывающий полезное использование ячеек.

Учитывая, что для цилиндрической поверхности площадь, приходящаяся на одну ячейку, $S_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot (m+d)^2}{2}$, находим необходимую поверхность для размещения ячеек:

$$A = S_0 z_d = \frac{\sqrt{3} q_k (m+d)^2}{2 \alpha \mu d^3 \rho}. \quad (12.58)$$

С другой стороны, площадь A может быть выражена через размеры цилиндра

$$A = lv = l \omega r = l \sqrt{\frac{\omega^2 r \cdot r g}{g}} = l \sqrt{k g r}, \quad (12.59)$$

где v – окружная скорость цилиндра, м/с;

k – показатель кинематического режима триера.

Приравняв правые части выражений и проведя некоторые преобразования, имеем

$$l \sqrt{r} = \frac{\sqrt{3} q_k (m+d)^2}{2 c \rho d^3 \sqrt{k g}}, \quad (12.60)$$

где $c = \mu \alpha$ – коэффициент, принимаемый равным 0,01...0,02.

Задаваясь радиусом, находим длину цилиндра триера. Производительность триера определяют по формуле

$$Q = 2 \pi \varepsilon q_0 r l, \quad (12.61)$$

где ε – опытный коэффициент, учитывающий вид обрабатываемой культуры;
 q_0 – удельная нагрузка на единицу площади ячеистой поверхности, кг/(с·м²).

Для пшеницы $q_0 = 0,16...0,18$ при выделении длинных примесей с содержанием до 7% и $q_0 = 0,15...0,17$ при выделении коротких примесей с со-

держанием до 1,5%; для овса $q_0 = 0,08...0,1$ при выделении коротких примесей до 10%.

Коэффициент ε для пшеницы равен 1, для ржи – 0,75...0,9, для ячменя – 0,65...0,8, для клевера – 0,1...0,12, для льна – 0,15...0,2.

Размещение триеров и регулируемые параметры. Пропускная способность триеров ниже, чем у воздушно-решетных очисток. Триеры располагают после разделения на решетках, включая их как элемент конструкции машины вторичной очистки или в виде блоков из нескольких цилиндров.

Триерная группа машин вторичной очистки состоит из двух цилиндров, работающих последовательно: овсюжного и кукольного или наоборот.

В триерных блоках цилиндры устанавливают для последовательной или параллельной работы (рисунок 12.20).

При последовательной работе триерного блока, включающего четыре цилиндра, исходная смесь равными потоками подается в два верхних, выделяющих, например, длинные примеси. Основную культуру обрабатывают на нижних цилиндрах, очищая ее от коротких примесей. Такую схему применяют при наличии в смеси как длинных, так и коротких примесей. Однако производительность работы ограничена пропускной способностью одного цилиндра (кукольного или овсюжного).

При трех цилиндрах последовательную схему работы триерных блоков применяют не только для выделения примесей, но и для разделения зерна на крупную и мелкую фракции. Цилиндры устанавливают с изменяющимся размером ячеек.

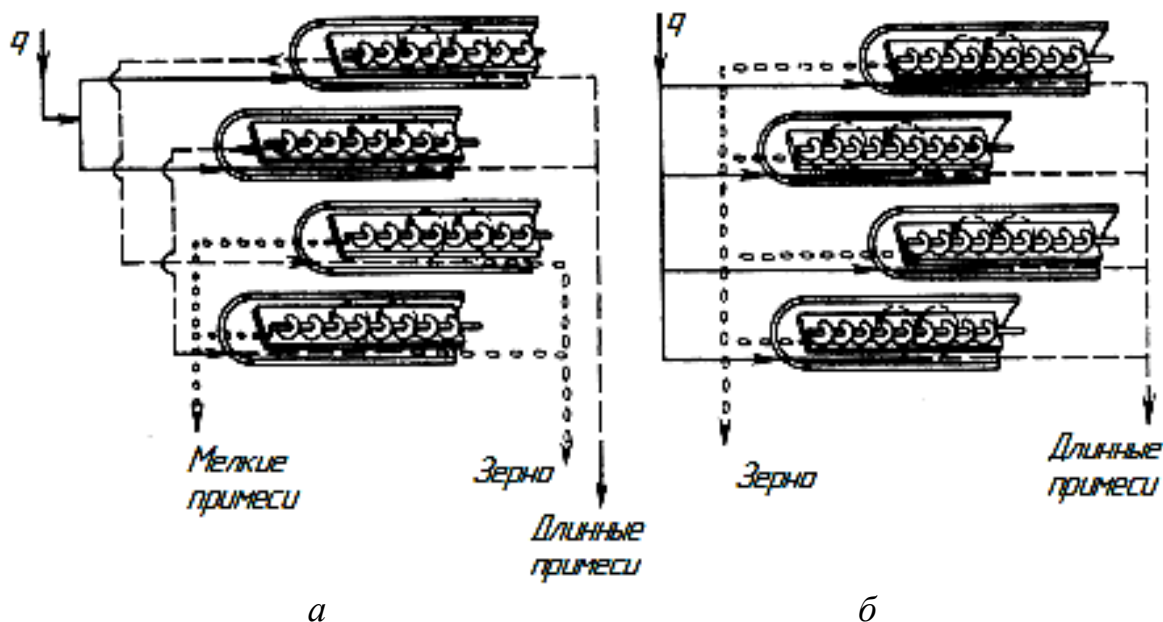


Рисунок 12.20 – Схемы последовательной (а) и параллельной (б) работы триерных цилиндров

Параллельную схему работы триерных цилиндров используют для выделения только длинных или коротких примесей. Материал подается одновременно во все цилиндры. Производительность блока, выделяющего примеси по параллельной схеме, значительно выше, чем по последовательной.

Триерные блоки или сложные зерноочистительные машины снабжены набором сменных цилиндров для выделения длинных и коротких примесей из зерновой смеси различных культур.

Качественное разделение на триерах достигается правильным подбором размеров ячеек. Они могут быть определены построением вариационных кривых зерновой смеси или приближенно подобраны по таблице 12.4.

Таблица 12.4 – Диаметры ячеек триеров

| Культура | Диаметр ячеек, мм, для примесей | |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------|
| | длинных | коротких |
| Пшеница и овес | 8,8, 8,5 и 9,0 | 4,5, 5,0 и 5,6 |
| Рожь | 8,0 и 9,5 | 5,0 и 6,3 |
| Ячмень | 9,5 и 11,2 | 5,6 и 6,3 |
| Гречиха | 8,5 | 6,3 |
| Клевер, тимopheевка и люцерна | 2,8 | 1,6 и 1,8 |
| Лен | 5,0 | 3,5 и 4,0 |

Полнота выделения примесей и потери основной культуры зависят от частоты вращения цилиндров и их загрузки. Частоту вращения изменяют от 30 до 45 мин⁻¹. Для крупносеменных культур предпочтительны большие, а для мелкосеменных – меньшие частоты. Оптимальную частоту следует выбрать одновременно с установкой угла наклона лотка, добиваясь заданного качества разделения при наибольшей производительности.

Загрузку триера находят по пропускной способности, т.е.

$$q_{om} = 2\pi k_s r l q'_{om}, \quad (12.62)$$

где k_s – коэффициент эквивалентности;

r – внутренний радиус цилиндра, м;

l – длина рабочей части триера, м;

q'_{om} – пропускная способность 1 м² внутренней площади триера при выделении примесей из пшеницы, кг/с·м⁻².

При выделении длинных примесей с содержанием их в сортируемой пшенице $k_n \leq 1\%$ рекомендуется принимать $q'_{om} = 0,16 \dots 0,18$ кг/с·м⁻² и коротких примесей с $k_n < 1,5\%$ – $q'_{om} = 0,15 \dots 0,17$ кг/с·м⁻².

Для триеров коэффициент эквивалентности k_s принимают в зависимости от обрабатываемой культуры: для ржи 0,75...0,9, ячменя 0,65...0,8, льна 0,15...0,2 и клевера 0,1...0,12.