

Обоснование процесса и параметров очистки и сортировки ягод

Ягоды брусники сортовой убирают преимущественно сухим способом, что обусловлено в первую очередь схемой посадки, а также расположением ягод на растениях. Полученная в результате уборки ягодная смесь содержит механические примеси, поврежденные ягоды и требует послеуборочной очистки и сортировки для получения товарного материала, используемого при дальнейшей переработке.

До настоящего времени в клюкководческих хозяйствах Беларуси очистка и сортировка ягод семейства брусничных проводятся с минимальным использованием средств механизации, после которых ягоды не удовлетворяют требованиям по качеству к готовой продукции. В основном данная технологическая операция осуществляется либо на переборочных столах вручную, либо машинами с низким качеством сортировки и очистки.

Между тем за рубежом существуют специальные машины, позволяющие получать высококачественный материал, полностью готовый к дальнейшей переработке.

Проведенный нами анализ технических средств в области очистки и сортировки как на территории СНГ, так и Западной Европы, Америки показал, что широкое применение среди разнообразных методов получил метод разделения и очистки с использованием наклонной разделяющей поверхности и направленного воздушного потока, что позволяет проводить очистку и сортировку по комплексу физико-механических свойств (по шероховатости, упругости, форме поверхности, скорости витания и т.д.). При этом повышается качество операции.

Для определения основных условий осуществления операции очистки и сортировки нами теоретически, с помощью математического моделирования, определены основные параметры сортировально-очистного устройства. Для построения математической модели процесса выбрана схема протекания операции и исходные данные материала (физико-механические свойства ягод брусники).

При анализе процесса очистки ягод на наклонном транспортере при направленном воздушном напоре следует учитывать лишь влияние трения качения, так как опрокидывание ягод под действием сил относительно большей оси носит неустойчивый характер. Поскольку всем ягодам присуща округлая форма (т.е. индекс формы $\Gamma_n = 1,0$), условно считаем ягоду шаром. С учетом этого при первоначальном исследовании движение ягоды можно рассматривать как качение круга (рис. 32).

Смоделируем процесс очистки ягод, рассматривая их движение, как движение шара. При этом считаем, что поверхность наклонной плоскости абсо-

лотно шероховатая, т.е. имеет место чистое качение без скольжения. Наклонную горку, по которой скатываются ягоды, будем считать неподвижной.

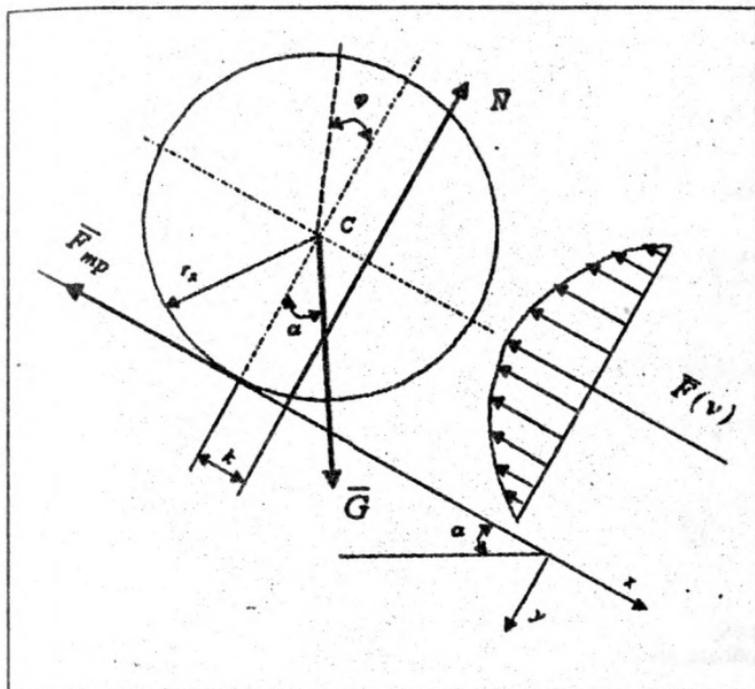


Рис.22. Схема качения ягоды по наклонной плоскости

В отличие от твердого тела [1] поверхность ягоды испытывает упругую деформацию: происходит смещение реакции \bar{N} в сторону действия движущей силы.

Уравнения плоскопараллельного движения ягоды имеют следующий вид:

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{x}_c = G \cdot \sin \alpha - F_{mp} - R(v); \\ m \cdot \ddot{y}_c = G \cdot \cos \alpha - N; \\ J \cdot \ddot{\varphi} = m \cdot \rho_c^2 \cdot \ddot{\varphi} = F_{mp} \cdot r_n - N \cdot k, \end{cases} \quad (1)$$

где x_c , y_c - координаты центра масс ягоды; v - скорость движения ягоды; φ - угловая координата; r_n - радиус ягоды, мм; F_{mp} - сила трения качения; \bar{N} - нормальная реакция плоскости; $\bar{G} = m \cdot \bar{g}$ - вес ягоды; $\bar{R}(v)$ - сопротивление среды; m - масса ягоды; g - ускорение свободного падения; J - момент инерции ягоды относительно оси, проходящей через центр масс и перпендикулярной к

плоскости движения ягоды xOy ; ρ_c - радиус инерции ягоды; k - коэффициент трения качения.

Система уравнений (1) содержит пять неизвестных: $\ddot{x}_c, \ddot{y}_c, \ddot{\varphi}, F_{mp}, N$. Допустив, что ягоды катятся без подскока, и используя условие качения без скольжения $\dot{x}_c - r_{я} \cdot \dot{\varphi} = 0$, получим:

$$\dot{y}_c = const = 0; \ddot{y}_c = 0; \dot{x}_c = r_{я} \cdot \dot{\varphi}; \ddot{x}_c = r_{я} \cdot \ddot{\varphi}.$$

Тогда второе уравнение системы (1) примет вид:

$$N = G \cdot \cos \alpha. \quad (2)$$

Из третьего уравнения находим

$$F_{mp} = \frac{m}{r_{я}} \cdot \rho_c^2 \cdot \ddot{\varphi} + \frac{k}{r_{я}} \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha, \quad (3)$$

и, подставляя уравнение (3) в первое уравнение системы, имеем

$$m \cdot r_{я} \cdot \ddot{\varphi} = m \cdot g \cdot \sin \alpha - \frac{m}{r_{я}} \cdot \rho_c^2 \cdot \ddot{\varphi} - \frac{k}{r_{я}} \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha - R(v),$$

или

$$\frac{r_{я}^2 + \rho_c^2}{r_{я}} \cdot \ddot{\varphi} = g \cdot \sin \alpha - \frac{k}{r_{я}} \cdot g \cdot \cos \alpha - \frac{1}{m} R(v).$$

Введя обозначение $\lambda = \frac{r_{я}^2}{r_{я}^2 + \rho_c^2}$, получим

$$\ddot{\varphi} = \frac{\lambda \cdot g}{r_{я}} \left(\sin \alpha - \frac{k \cdot \cos \alpha}{r_{я}} - \frac{R(v)}{m \cdot g} \right). \quad (4)$$

Рассмотрим случай, когда сопротивление среды

$$R(v) = \mu \cdot v = m \cdot k_0 \cdot v. \quad (5)$$

Тогда уравнение (4) можно записать

$$\ddot{\varphi} = \frac{\lambda \cdot g}{r_{я}} \left(\sin \alpha - \frac{k \cdot \cos \alpha}{r_{я}} - \frac{k_0 \cdot v}{g} \right). \quad (6)$$

Так как $v = v_c = \dot{x}_c = r_{я} \cdot \dot{\varphi}$, формулу (6) можно переписать в виде

$$\ddot{\varphi} + k_0 \cdot \lambda \cdot \dot{\varphi} = \frac{\lambda \cdot g}{r_{я}} \left(\sin \alpha - \frac{k \cdot \cos \alpha}{r_{я}} \right),$$

или, введя обозначение $k_1 = \frac{k}{r_{я}}$,

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} (\dot{\varphi} + k_0 \cdot \lambda \cdot \varphi) = \frac{\lambda \cdot g}{r_{я}} (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha). \quad (7)$$

Интегрируя последнее уравнение, получаем

$$\dot{\varphi} + k_0 \cdot \lambda \cdot \varphi = \frac{\lambda \cdot g \cdot t}{r_n} (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha) + C, \quad (8)$$

где $C = \dot{\varphi}_0 + k_0 \cdot \lambda \cdot \varphi_0$ - произвольная постоянная интегрирования, значение которой находится из начальных условий движения: $t = 0 \quad \dot{\varphi} = \dot{\varphi}_0; \quad \varphi = \varphi_0$.

Подставив $z = k_0 \cdot \lambda \cdot (\varphi - \varphi_0) - \dot{\varphi}_0$ в уравнение (8), запишем

$$\dot{z} + k_0 \cdot \lambda \cdot z = \frac{k_0 \cdot \lambda^2 \cdot g \cdot t}{r_n} (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha), \quad (9)$$

т.е. имеем линейное неоднородное дифференциальное уравнение первого порядка с постоянными коэффициентами:

$$z = e^{-k_0 \lambda t} \left(\frac{k_0 \cdot \lambda^2 \cdot g}{r_n} (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha) \int e^{k_0 \lambda t} t \cdot dt + C_1 \right),$$

или

$$k_0 \cdot \lambda \cdot (\varphi - \varphi_0) - \dot{\varphi}_0 = e^{-k_0 \lambda t} \left(\frac{g}{k_0 \cdot r_n} (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha) \cdot e^{k_0 \lambda t} \cdot (k_0 \cdot \lambda \cdot t - 1) + C_1 \right).$$

Откуда

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{\dot{\varphi}_0}{k_0 \cdot \lambda} + \frac{e^{-k_0 \lambda t}}{k_0 \cdot \lambda} \left(\frac{g}{k_0 \cdot r_n} (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha) \cdot e^{k_0 \lambda t} \cdot (k_0 \cdot \lambda \cdot t - 1) + C_1 \right). \quad (10)$$

Так как при $t = 0 \quad \varphi = \varphi_0$, постоянная интегрирования

$$C_1 = \frac{g}{k_0 \cdot r_n} (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha) - \dot{\varphi}_0 \text{ и уравнение (10) примут следующий вид:}$$

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{(1 - e^{-k_0 \lambda t}) \cdot \dot{\varphi}_0}{k_0 \cdot \lambda} + \frac{g \cdot e^{-k_0 \lambda t}}{k_0^2 \cdot \lambda \cdot r_n} (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha) \cdot [1 + (k_0 \cdot \lambda \cdot t - 1) \cdot e^{k_0 \lambda t}]. \quad (11)$$

Продифференцировав формулу (11), получим значение угловой скорости:

$$\dot{\varphi} = \left[\dot{\varphi}_0 - \frac{g}{k_0 \cdot r_n} (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha) \right] \cdot e^{-k_0 \lambda t} + \frac{g}{k_0 \cdot r_n} (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha). \quad (12)$$

Умножая обе части уравнений (11) и (12) на r_n , получаем соответственно длину пройденного пути $s = \varphi \cdot r_n$ и скорость движения $v = \dot{\varphi} \cdot r_n$ ягоды:

$$s = \varphi_0 \cdot r_n + \frac{(1 - e^{-k_0 \lambda t}) \cdot \dot{\varphi}_0 \cdot r_n}{k_0 \cdot \lambda} + \frac{g \cdot e^{-k_0 \lambda t}}{k_0^2 \cdot \lambda} (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha) \cdot [1 + (k_0 \cdot \lambda \cdot t - 1) \cdot e^{k_0 \lambda t}]; \quad (13)$$

$$v = \left[\dot{\varphi}_0 \cdot r_n - \frac{g}{k_0} (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha) \right] \cdot e^{-k_0 \lambda t} + \frac{g}{k_0} (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha). \quad (14)$$

Для последующей ягоды, поступившей на наклонную плоскость через промежуток времени t_0 , прошедший после поступления предыдущей ягоды:

$$s_{t-t_0} = \dot{\varphi}_0 \cdot r_n + \frac{(1 - e^{-k_0 \lambda (t-t_0)}) \cdot \dot{\varphi}_0 \cdot r_n}{k_0 \cdot \lambda} + \frac{g \cdot e^{-k_0 \lambda (t-t_0)}}{k_0^2 \cdot \lambda} \cdot (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha) \cdot \left[1 + (k_0 \cdot \lambda \cdot (t-t_0) - 1) \cdot e^{k_0 \lambda (t-t_0)} \right] \quad (15)$$

Тогда расстояние $s_1 = s - s_{t-t_0}$ между предыдущей и последующей ягодами

$$s_1 = \frac{r_n \cdot \dot{\varphi}_0}{k_0 \cdot \lambda} \cdot (e^{k_0 \lambda t_0} - 1) \cdot e^{-k_0 \lambda t} + \frac{g \cdot (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha)}{k_0^2 \cdot \lambda} \cdot \left[(1 - e^{k_0 \lambda t_0}) \cdot e^{-k_0 \lambda t} + k_0 \cdot \lambda \cdot t_0 \right] \quad (16)$$

Если скорость равномерного движения любой точки транспортера v_r , то ягода, совершая чистое качение, должна переместиться в абсолютном движении вместе с лентой на величину s_n . В конце пути s_n она может сойти с ленты транспортера при условии, что скорость её относительного движения v_r не будет превышать её скорости переносного движения v_e . В предельном случае $v_e = v_r$, т.е.

$$v_r = \left[\dot{\varphi}_0 \cdot r_n - \frac{g}{k_0} \cdot (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha) \right] \cdot e^{-k_0 \lambda t} + \frac{g}{k_0} \cdot (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha) = v_e$$

Отсюда

$$t = \frac{1}{k_0 \cdot \lambda} \cdot \ln \left| \frac{\dot{\varphi}_0 \cdot r_n \cdot k_0 - g \cdot (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha)}{v_r \cdot k_0 - g \cdot (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha)} \right| \quad (17)$$

Путь, пройденный ягодой в абсолютном движении, может быть приравнен к максимальной длине рабочей ветви транспортера:

$$s_n = s_e + s_r \quad (18)$$

где $s_e = v_e \cdot t$ - путь, пройденный ягодой в переносном движении; $s_r = v_r \cdot t$ - путь, пройденный ягодой в относительном движении.

$$s_n = \frac{2 \cdot v_e}{k_0 \cdot \lambda} \cdot \ln \left| \frac{\dot{\varphi}_0 \cdot r_n \cdot k_0 - g \cdot (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha)}{v_r \cdot k_0 - g \cdot (\sin \alpha - k_1 \cdot \cos \alpha)} \right| \quad (19)$$

Из последнего уравнения следует, что чем выше скорость ленты транспортера, тем длиннее должна быть его рабочая ветвь во избежание нарушений в процессе очистки ягод.

При попадании на наклонную ленту транспортера возможны различные случаи движения ягоды:

- перемещается вместе с лентой транспортера, не совершая относительно движения;

- совершает чистое качение по отношению к ленте транспортера в направлении, противоположном её движению;
- скользит в направлении, противоположном движению ленты транспортера;
- совершает качение одновременно со скольжением в направлении, противоположном движению ленты транспортера.

На рис.23 приведена схема работы разделительного конвейера и дано описание условия разделения ягод.

Ягода M , находясь на наклонном полотне, движущемся вверх в присутствии воздушного потока, в зависимости от соотношения силы тяжести и силы трения может направляться вверх или вниз.

Величина этих сил зависит от ускорения a ($P=ma$). Ускорение, заставляющее ягоду катиться вниз, $a = g \sin \alpha$, а ускорение, препятствующее этому движению, $a = fg \cos \alpha$, где f - коэффициент трения о поверхность полотна.

Отсюда можно сделать вывод, что здоровые ягоды с коэффициентом трения f_1 будут скатываться вниз по полотну при угле наклона $g \sin \alpha - f_1 \cos \alpha > 0$, шуплые, битые ягоды и шероховатые примеси с коэффициентом трения f_2 будут увлекаться полотном вверх при условии $f_2 g \cos \alpha - g \sin \alpha > 0$.

Можно подобрать соответствующий угол наклона ленты транспортера, при котором ягоды вследствие различных коэффициентов трения будут сортироваться на две фракции.

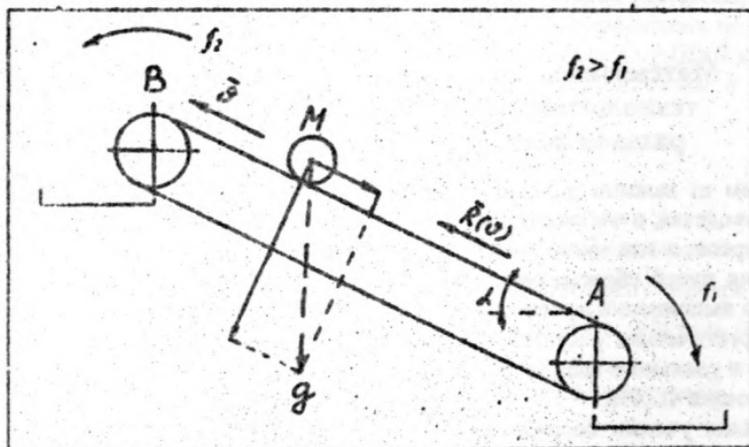


Рис.23. Схема работы разделительного конвейера

Здоровые ягоды с коэффициентом трения f_1 под влиянием ускорения $W = g \sin \alpha - f_1 \cos \alpha$ скатываются вниз равномерно ускоренным движением с конечной скоростью $v_0 = \omega$ (по времени) по отношению к полотну. При значи-

тельной скорости полотна здоровые ягоды с коэффициентом трения f_1 увлекаются вверх в отходы.

Для регулирования работы машины устанавливается угол наклона горки больше угла трения ($\angle \alpha > \angle \varphi$) и изменяется скорость движения полотна.

Производительность конвейера (горки), кг/ч, рассчитывается по формуле

$$Q = \eta \frac{360 v_z g}{p}$$

где B , м - ширина полотна; v_z , м/с - скорость ленты; k - число попаданий в отходы ягод, укладываемых на 1 м^2 полотна; g - вес 1000 ягод, идущих в отходы; p - процент отходов; η - коэффициент полезного действия горки.

Данные теоретических расчетов были использованы при разработке устройства ягодоочистительной машины (ОЯ).

Исследования будут продолжены с целью обобщения полученных результатов для широкого внедрения в ягодоводческих хозяйствах Республики Беларусь.

СЕКЦИЯ 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ, МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

УДК 631.223.6.014 : 636.084.74

Н.М.Морозов, В.И.Ломов,
Д.К.Ларкин (ВНИИМЖ)

Математическая модель энергетической оценки технологических процессов приготовления и раздачи кормов на свиноводческих фермах

Одним из важных условий снижения стоимости производства продукции животноводства, в частности свиноводства, является рациональное использование ресурсов, в том числе энергетических на основе правильного их учета, определения путей сбережения энергоресурсов без нарушения технологических режимов выполнения процессов. Целесообразность рационального использования энергетических ресурсов возрастает в условиях постоянного повышения тарифов и удельного веса затрат на их оплату в общих издержках производства, достигающих 4...6%.

Усилия ученых сосредоточены преимущественно на совершенствовании методологических положений определения совокупной энергоемкости производства продукции, включающих учет как прямых затрат ресурсов, так и опосредствованных в кормах, основных средствах, включая здания, сооружения, машины.

К сожалению, это важное направление в определенной мере осуществляется в ущерб разработке конкретных направлений рационального использования