

УДК 631.573.(476)

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ
КОРНЕПЛОДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ЧЕРЕЗ
ТРАНСПОРТНО-ОЧИСТИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ
БУРТОУКЛАДОЧНОЙ МАШИНЫ**

П. Н. Бычек

ГУО «Гродненский областной институт развития образования»

г. Гродно, Республика Беларусь

(Республика Беларусь, 230011, г. Гродно ул. Гагарина, 6; e-mail:
groiro@mail.grodno.by)

***Ключевые слова:** буртоукладочная машина, корнеплоды сахарной свеклы, транспортно-очистительные механизмы, движение корнеплодов.*

***Аннотация.** В статье теоретически обосновано движение корнеплодов сахарной свеклы через транспортно-очистительные механизмы буртоукладочной машины: после схода с наклонного ленточного транспортера на кулачковый землеотделитель и далее в приемную камеру ленточного укладочного транспортера. Определены уравнения движения корнеплодов на каждом из участков траектории, что позволит определить их частоту вращения в зоне обработки.*

**THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE MOVEMENT OF
ROOT CROPS OF SUGAR BEET THROUGH TRANSPORT AND
CLEANING MECHANISMS OF THE MACHINE FOR LAYING
ROOT CROPS**

P. N. Bychek

SEI «Grodno Regional Institute for the Development of Education»

Grodno, Republic of Belarus

(Republic of Belarus, Grodno, 230011, 6 Gagarin st.; e-mail:
groiro@mail.grodno.by)

***Key words:** machine for laying root vegetables, sugar beet roots, transport and cleaning mechanisms, the movement of root vegetables.*

***Summary.** The article theoretically substantiates the movement of sugar beet roots through the transport-cleaning mechanisms of the machine for placing sugar beet; after moving away from the inclined belt conveyor to the cam land separator and then into the receiving chamber of the belt-laying conveyor. The equations of motion of root crops on each of the sections of the trajectory are determined, which will make it possible to determine their rotation frequency in the processing zone.*

(Поступила в редакцию 01.06.2019 г.)

Введение. Сахарная свекла в Республике Беларусь – важная техническая культура, обеспечивающая существенную долю экспорта от

сельскохозяйственной отрасли страны. В стране предпринимаются значительные усилия по повышению эффективности возделывания сахарной свеклы – урожайность за 13 последних лет возросла на 160 ц/га (316 ц/га в 2005 г. и 476 в 2018 г.), валовый сбор корнеплодов увеличился на 33% (с 3065 тыс. т в 2005 г. до 4086 в 2018 г.) [1]. Для реализации поставленных целей с 2005 по 2015 гг. приняты и исполнены программы развития отрасли [2, 3].

Серьезным резервом снижения издержек производства сахара является сокращение непроизводительных потерь корнеплодов от момента уборки до переработки на свеклоперерабатывающем предприятии – по литературным данным потери корнеплодов сахарной свеклы от гниения в неблагоприятные годы достигают 30% [4].

Борьбу с гниением корнеплодов можно проводить различными способами, наиболее простым из которых является их мелкодисперсное протравливание перед укладкой в кагаты на длительное хранение [6]. Для максимальной эффективности обработки необходимо равномерное покрытие корнеплодов рабочей жидкостью со всех сторон.

Визуальные наблюдения подтверждают, что после схода корнеплодов с кулачкового транспортера в приемную камеру происходит их вращение.

Цель работы – теоретическое определение частоты вращения корнеплодов и уравнений траектории их движения на различных участках транспортно-очистительных механизмов буртоукладочной машины.

Материал и методика исследования. Буртоукладочная машина используется для укладки корнеплодов свеклы в крупногабаритные бурты (кагаты), различают исполнения с приводом от гусеничного трактора ДТ-75 или электрифицированные (более современный вариант) с приводом от электродвигателей. Сменная производительность таких машин находится в пределах 500-1500 т свеклы в сутки. Включает в себя следующие сборочные узлы: рама, энергосредство, ленточный подающий транспортер (горизонтальная и наклонная ветви), кулачковый землеотделитель, транспортер выдачи отходов, приемная камера и укладочный транспортер [7].

Движение корнеплодов через транспортно-очистительные механизмы буртоукладочной машины рассмотрим по отдельности и разделим на три этапа: движение с подающего ленточного транспортера на кулачковый землеотделитель, движение по кулачковому землеотделителю, падение с кулачкового землеотделителя в приемную камеру укладочного транспортера.

Движение корнеплодов по ленточному транспортеру.

Дальность и высота полета корнеплода зависят от величины и направления абсолютной скорости транспортера в момент отрыва корнеплода от его поверхности. В свою очередь, от скорости соударения корнеплода с кулачковым транспортером зависит степень их травмируемости.

Подающий транспортер расположен под углом в пределах $\alpha=30\dots35^\circ$ к горизонту, для предотвращения скатывания корнеплодов снабжен поперечными планками.

Для определения траектории полета корнеплода после отрыва его от ленты транспортера необходимо решить задачу о полете тела, брошенного под углом α к горизонту с известной начальной скоростью.

Начальную скорость корнеплода при отрыве его от ленты транспортера будем считать равной скорости транспортера.

Для решения поставленной задачи примем:

- скорость корнеплода перед началом его полета равна скорости транспортера:

$$V_{k_0} = V_{k_1} = V_{mp},$$

где V_{k_0} – скорость корнеплода в начальный момент времени, м/с;

V_{k_1} – скорость корнеплода в текущий момент времени, м/с;

V_{mp} – скорость транспортера, м/с.

-корнеплод на подающем транспортере не вращается:

$$\omega_{k_1} = 0,$$

где ω_{k_1} – частота вращения корнеплода на подающем транспортере, c^{-1} .

Для определения траектории полета корнеплода воспользуемся рисунком 1.

Выберем начало координат в точке O , где лента транспортера 1 начинает перегиб на шкиве 2. Ось X направим горизонтально, а ось Y – перпендикулярно вниз, ускорение свободного падения g также направлено вниз. Сопротивлением воздуха пренебрегаем.

Спроецируем начальную скорость корнеплода V_{k_1} и его ускорение a_k на оси X и Y . Проекция начальной скорости в точке O на ось X равна:

$$V_{k_{1x}} = V_{k_0x} + a_x \cdot t_1 = V_{k_1} \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

$$v_{k1y} = v_{k0y} - g \cdot t_1 = v_{k1y} \cdot \sin \alpha - g \cdot t_1 \quad (2),$$

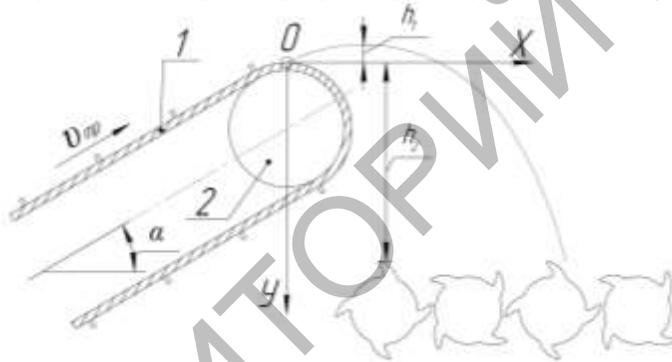
где v_{k1x} и v_{k1y} – скорость корнеплода по осям X и Y соответственно, м/с;

v_{k0x} и v_{k0y} – начальная скорость корнеплода перед отрывом его от транспортера (численно равна скорости движения транспортера v_{mp}), м/с;

a_x – ускорение частицы по оси X , м/с²;

t_1 – время полета корнеплода с подающего транспортера на кулачковый землеотделитель, с;

α – угол наклона транспортера к горизонту, град.



1 – транспортер; 2 – шкив транспортера

Рисунок 1 – Схема к определению траектории движения корнеплода

Проекция ускорения a_x на ось X равна 0, т. к. проекция ускорения свободного падения перпендикулярна оси X .

Интегрируя скорость движения, получим уравнение движения. Для нашего случая, интегрируя (1) и (2) с начальными условиями ($v_{k0x} = v_{mp}$, $y(0) = 0$ и $x(0) = 0$), получим уравнения движения частицы:

$$x_{k1} = x_0 + v_{k1} \cdot t_1 + \frac{a_x \cdot t_1^2}{2} = v_{k1} \cdot t_1 \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

$$y_{k1} = y_0 + v_{k1} \cdot t_1 - \frac{a_y \cdot t_1^2}{2} = v_{k1} \cdot t_1 \cdot \sin \alpha - \frac{g \cdot t_1^2}{2} \quad (4)$$

Приняв, что скорость корнеплода в точке наивысшего подъема равна нулю ($V_{k_1y} = 0$), из (2) можно определить время t_1 полета корнеплода:

$$t_1 = \frac{V_{k_1y} \cdot \sin \alpha}{g} \quad (5)$$

Интегрируя (5), получим максимальную высоту h_1 подъема корнеплода:

$$h_1 = \frac{V_{k_1}^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot g} \quad (6)$$

После прохождения точки наивысшего подъема корнеплод будет двигаться по осям X и Y со скоростями:

$$V_{k_1x} = V_{k_1} \cdot \cos \alpha \quad (7)$$

$$V_{k_1y} = g \cdot t_1 \quad (8)$$

Уравнение траектории движения корнеплода после прохождения точки наивысшего подъема получим путем интегрирования выражений (7) и (8) с начальными условиями ($x_0=0$ и $y_0=0$):

$$x_{k_1} = V_{k_1} \cdot t_1 \cdot \cos \alpha \quad (9)$$

$$y_{k_1} = \frac{g \cdot t_1^2}{2} \quad (10)$$

Корнеплод, перемещаясь с подающего транспортера на кулачковый землеотделитель, пройдет по вертикали расстояние, равное сумме высоты наивысшего подъема (h_1) и расстояния (h_2) между подающим транспортером и кулачковым землеотделителем. Приравняв (10), получим:

$$h_1 + h_2 = \frac{g \cdot t_1^2}{2} \quad (11)$$

Выразив t_1 из (11), получим время нахождения корнеплода в полете:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot (h_1 + h_2)}{g}} \quad (12)$$

Зная скорость корнеплода по осям X и Y , можно определить скорость V_{k_1n} приземления корнеплода на кулачковый землеотделитель:

$$v_{k1n} = \sqrt{v_{k1x}^2 + v_{k1y}^2} \quad (13)$$

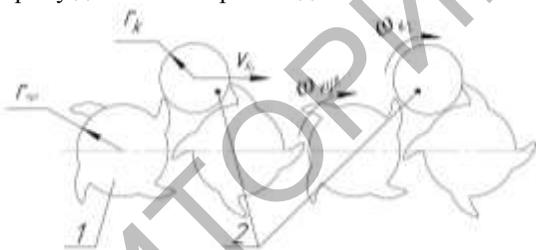
Подставив в (13) выражения (7) и (8), с учетом (12) после ряда преобразований получим:

$$v_{k1n} = \sqrt{v_{k1}^2 + 2 \cdot h_2 \cdot g} \quad (14)$$

Поскольку вдоль оси X корнеплод двигался равномерно, то скорость вдоль этой оси была неизменной и определялась выражением (7). При падении на кулачковый транспортер эта скорость будет компенсирована линейной скоростью кулачков и на дальнейшее движение корнеплодов не будет оказывать влияние.

Движение корнеплодов по кулачковому землеотделителю.

Ворох корнеплодов, содержащий почвенно-растительные примеси, попадает с подающего ленточного транспортера на землеотделитель, где и происходит его сепарация. Кулачки землеотделителя вращаются в сторону движения корнеплодов.



1 – кулачок; 2 – корнеплоды

Рисунок 2 – Схема к определению движения корнеплода по кулачковому землеотделителю

Корнеплоды, движущиеся по землеотделителю, приобретают линейную скорость:

$$V_{k2} = \omega_{кул} \cdot r_{кул} \quad (15),$$

где V_{k2} – линейная скорость корнеплода при его движении по кулачковому транспортеру, м/с;

$\omega_{кул}$ – угловая частота вращения кулачка, с⁻¹;

$r_{кул}$ – радиус кулачка, м.

Зная радиус корнеплода r_k и используя выражение (15), можно определить угловую скорость вращения корнеплода ω_{k_2} в конце его движения по кулачковому землеотделителю:

$$\omega_{k_2} = \frac{\omega_{кзл} \cdot r_{кзл}}{r_k} \quad (16)$$

Таким образом, к моменту падения корнеплода в приемную камеру его угловая скорость определяется по выражению (16), поступательная – по (15).

Перемещение корнеплода с кулачкового землеотделителя в приемную камеру укладочного транспортера.

Для определения траектории полета корнеплода после отрыва его от кулачкового землеотделителя необходимо решить задачу о полете тела, брошенного горизонтально с известной начальной скоростью.

Для определения траектории полета корнеплода воспользуемся рисунком 3.

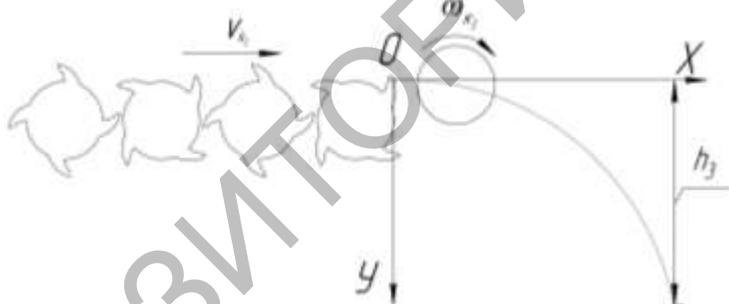


Рисунок 3 – Схема движения корнеплода в приемной камере

Выберем начало координат в точке O , где корнеплод сходит с кулачкового транспортера и начинает свободный полет. Ось X направим горизонтально, ось Y – перпендикулярно вниз, ускорение свободного падения g также направлено вниз. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

В начальный момент времени по оси X ускорение корнеплода равно 0 ($x_{k_3o} = 0, a_{k_3x} = 0$). Скорость корнеплода будет равна скорости движения его в конце кулачкового землеотделителя ($v_{k_3ox} = v_{k_3}, v_{k_3x} = v_{k_3}$) и может быть определена по выражению (15).

В начальный момент времени по оси Y скорость корнеплода равна 0 ($v_{k_3oy} = 0$), его ускорение равно ускорению свободного падения ($a_{k_3y} = -g$). Расстояние, пройденное корнеплодом по вертикали, известно и равно высоте приемной камеры h_3 ($y_{k_3o} = h_3$).

Выражения для определения скоростей корнеплода по осям будут иметь вид:

$$x_{k_3} = v_{k_3} \cdot t_3 \quad (17)$$

$$y_{k_3} = h_3 - \frac{g \cdot t_3^2}{2} \quad (18)$$

В конечный момент времени пройденное расстояние равно нулю ($y_{k_3} = 0$). Из (18) после преобразований получим время падения корнеплода в приемной камере:

$$t_3 = \sqrt{\frac{2 \cdot h_3}{g}} \quad (19)$$

Зная время падения t_3 и угловую скорость вращения $\omega_{k_3} = \omega_{k_2}$, определим количество оборотов корнеплода N за время падения:

$$N = \omega_{k_3} \cdot t_3 = \frac{\omega_{кыл} \cdot r_{кыл}}{r_k} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h_3}{g}} \quad (20)$$

или

$$N = \frac{\omega_{k_3}}{2 \cdot \pi} \cdot t_3 = \frac{\omega_{k_3}}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h_3}{g}} \quad (21)$$

Выражение (20) позволит определить количество оборотов в приемной камере.

Результаты исследований и их обсуждение. Полученные в настоящем исследовании выражения (20) и (21) могут быть использованы для последующего обоснования степени покрытия корнеплодов рабочей жидкостью, т. к. нашими предыдущими исследованиями установлено, что наиболее рациональной точкой внесения жидкого защитного препарата на буртоукладочной машине является место схода корнеплодов с кулачкового землеотделителя в приемную камеру укладочного транспортера [8].

Заключение. Для достижения максимального эффекта от обработки жидким препаратом необходимо, чтобы объект обработки был покрыт рабочей жидкостью со всех сторон. Требуемого результата можно достичь путем установки распыливающих устройств с нескольких сторон или обеспечить вращение корнеплода при его пролете через воздушно-капельную смесь. Выражение (20) показывает, что в установке нескольких распыливающих устройств в приемной камере укладочного транспортера нет необходимости, т. к. корнеплод при сходе с кулачкового землеотделителя в приемную камеру укладочного транспортера вращается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Национальный статистический комитет. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/selskoe-hozyaystvo/osnovnye-pokazateli-za-period-s-__-po-___gody_6/valovoi-sbor-osnovnyh-selskohozyaystvennyh-kultur/. – Дата доступа: 30.05.2019.
2. О программах развития мясной, молочной, сахарной промышленности на 2005-2010 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 15 июля 2005 г., № 792 // ЭТА-ЛЮН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информац. Респ. Беларусь. – Минск, 2005.
3. О Государственной программе развития сахарной промышленности на 2011-2015 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 23 марта 2011 г., № 359 // ЭТА-ЛЮН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информац. Респ. Беларусь. – Минск, 2011.
4. Свиридов, А. В. Агробиологическое обоснование развития гнилей корнеплодов свеклы сахарной и столовой и разработка системы защиты по ограничению их вредоносности в Республике Беларусь: автореферат дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.07 / А. В. Свиридов. – Гродно, 2016. – 48 л.
5. Бычек, П. Н. Оборудование для протравливания корнеплодов сахарной свеклы на самоходном свеклоуборочном комбайне / П. Н. Бычек, А. В. Кузьмицкий // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. науч. тр.: в 2 т. / Гродн. гос. аграр. ун-т; под ред. В. К. Пестиса. – Гродно, 2009. – Т. 1: Агрономия. Экономика. – С. 43-49.
6. Бычек, П. Н. Обзор и анализ мероприятий по повышению сохранности корнеплодов сахарной свеклы при ее длительном хранении / П. Н. Бычек // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. науч. тр. / Гродн. гос. аграр. ун-т; под ред. В. К. Пестиса. – Гродно, 2014. – Т. 24: Агрономия. – С. 52-59.
7. Бычек, П. Н. Исследование технологической схемы буртоукладочной машины и обоснование места установки распыливающего устройства для внесения жидких консервантов / П. Н. Бычек, И. С. Крук, А. В. Болондзь, Ж. И. Пантелеева // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. науч. тр. / Гродн. гос. аграр. ун-т; под ред. В. К. Пестиса. – Гродно, 2018. – Т. 42: Агрономия. – С. 17-24.
8. Бычек, П. Н. Обоснование места установки распыливающего устройства для внесения жидких консервантов на буртоукладочной машине / П. Н. Бычек, И. С. Крук, Ж. И. Пантелеева // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-технич. конф., посвящ. 110-летию со дня рождения академика М. Е. Мацепуро (Минск, 17-18 октября 2018 г.). / редкол.: П. П. Казакевич (гл. ред.), Л. Ж. Кострома. – Минск: Беларуская навука, 2018. – С. 36-41.