

УДК 631.573.(476)

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ
КОРНЕПЛОДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПО ПОВЕРХНОСТЯМ
ТРАНСПОРТНО-ОЧИСТИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ
БУРТОУКЛАДОЧНОЙ МАШИНЫ**

П. Н. Бычек

*Государственное учреждение образования
«Гродненский областной институт развития образования»
г. Гродно, Республика Беларусь*

И. С. Крук, Ж. И. Пантелеева

*Учреждение образования «Белорусский
государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Резюме. В статье приведены результаты теоретических исследований закономерностей движения корнеплодов сахарной свеклы по транспортно-очистительным механизмам буртоукладочной машины, включающим в себя наклонный ленточный транспортер, кулачковый землеотделитель, приемную камеру и наклонный ленточный укладочный транспортер. Полученные результаты позволяют определить частоту вращения и время нахождения корнеплода в приемной камере укладочного транспортера и могут быть использованы при обосновании конструкции и выборе режимов работы оборудования для внесения жидких консервантов.

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

Введение. Значение сахарной свеклы, как технической культуры, являющейся сырьем для производства сахара, трудно переоценить. Руководством Республики Беларусь были приняты меры, направленные на увеличение производства сахарной свеклы и модернизацию свеклоперерабатывающих предприятий [7, 8], что позволило в 2005–2015 годах получить рост показателей в ее производстве и переработке: урожайность увеличилась на 50 % (с 317 ц/га в 2005 г. до 477 в 2018 г.), валовый сбор корнеплодов — на 34 % (с 3065 тыс. т в 2005 г. до 4086 в 2018 г.), экспорт сахара на внешние рынки — на 70 % (с 250 тыс. т в 2006 г. до 427 тыс. т в 2018 г.) [5].

В то же время увеличение производства сахарной свеклы повлекло за собой увеличение сроков переработки сырья, что отрицательно сказывается на его сохранности. Текущая суммарная мощность предприятий по переработке корнеплодов сахарной свеклы в Республике Беларусь составляет около 33 тыс. тонн в сутки, что позволяет переработать весь урожай примерно за 125 суток, что на 25 % превышает оптимальные сроки (95–100 суток) [1].

По оценке Свиридова А. В. в неблагоприятные годы потери корнеплодов во время хранения достигают 30 %, что отрицательно отражается на экономических показателях производства сахара [8].

В результате анализа возможных мероприятий, направленных на повышение сохранности корнеплодов сахарной свеклы при их длительном хранении, отмечено, что наиболее простым способом является обработка корнеплодов жидким защитным препаратом перед укладкой их на хранение буртоукладочной машиной [3].

Исследования устройства и компоновки буртоукладочной машины показывают, что оптимальным местом обработки корнеплодов жидким препаратом является приемная камера укладочного транспортера. При этом для достижения максимальной эффективности обработки должны выполняться следующие требования: возраст корнеплодов очищен от почвенно-растительных примесей, поверхность корнеплодов полностью обработана рабочей жидкостью, исключение последующего травмирования после обработки [4].

Цель исследований. Теоретически исследовать процессы движения корнеплодов по рабочим поверхностям механизмов буртоукладочной машины и получить зависимости для определения параметров, которые могут быть использованы для выбора и обоснования режимов работы распыливающего оборудования.

Объекты, условия и методы. Объектом исследования является корнеплод сахарной свеклы, движущийся по транспортно-очистительным механизмам буртоукладочной машины.

Буртоукладочная машина используется для укладки корнеплодов свеклы в крупногабаритные бурты (кагаты), привод которой осуществляется от двигателя гусеничного трактора ДТ-75 или от электродвигателя. Сменная производительность таких машин находится в пределах 500–1500 тонн свеклы в сутки. Транспортно-очистительные механизмы включают в себя ленточный подающий транспортер (горизонтальная и наклонная ветви), кулачковый землеотделитель, приемную камеру и укладочный транспортер [2].

Для исследования движения корнеплодов через транспортно-очистительные механизмы буртоукладочной машины разделим весь путь на три этапа и рассмотрим их отдельно: движение с подающего ленточного транспортера на кулачковый землеотделитель, движение по кулачковому землеотделителю, падение с кулачкового землеотделителя в приемную камеру укладочного транспортера.

1. 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.

Наклон подающего транспортера находится в пределах $\alpha = 30\text{--}35^\circ$ к горизонту, превышение которого приводит к скатыванию корнеплодов вниз и накопление их на горизонтальной ветви.

Чтобы определить траекторию полета корнеплода после отрыва его от ленты подающего транспортера необходимо решить задачу о полете тела, брошенного под углом α к горизонту с известной начальной скоростью.

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 момент отрыва от транспортера, 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, с^{-1} .

Схема для определения траектории полета корнеплода приведена на рис. 1.

Выберем начало координат в точке O , где ветвь ленты транспортера 1 набегает на шкив 2. Ось Ox направим горизонтально, а ось Oy — перпендикулярно вниз, ускорение свободного падения g также направлено вниз. Соппротивлением воздуха пренебрегаем.

Спроецируем скорость корнеплода v_{k_1} и его ускорение a_k на оси Ox и Oy . Проекция начальной скорости в точке O на ось Ox равна:

$$v_{k_{1x}} = v_{k_{0x}} + a_x \cdot t_1 = v_{k_1} \cdot \cos \alpha, \quad (1)$$

$$v_{k_{1y}} = v_{k_{0y}} + g \cdot t_1 = -v_{k_{1y}} \cdot \sin \alpha + g \cdot t_1, \quad (2)$$

где $v_{k_{1x}}$ и $v_{k_{1y}}$ — соответственно проекции скорости движения корнеплода на оси Ox и Oy , м/с;

$v_{k_{0x}}$ и $v_{k_{0y}}$ — проекции начальной скорости движения корнеплода перед отрывом его от транспортера (численно равна скорости движения транспортера v_{mp}) на оси Ox и Oy , м/с;

a_x — ускорение частицы по оси Ox , м/с²;

t_1 — время движения корнеплода до верхней точки траектории, с;

α — угол наклона транспортера к горизонту, град.

Проекция ускорения a_x на ось Ox равна нулю, так как проекция ускорения свободного падения перпендикулярна оси Ox .

Используя равенства (1) и (2) при начальных условиях $v_{k_0} = v_{mp}$, $y_0 = 0$, $x_0 = 0$, получим уравнения движения корнеплода:

$$x_{k_1} = x_0 + v_{k_1} \cdot t_1 + \frac{a_x \cdot t_1^2}{2} = v_{k_1} \cdot t_1 \cdot \cos \alpha, \quad (3)$$

$$y_{k_1} = y_0 + v_{k_1} \cdot t_1 - \frac{a_y \cdot t_1^2}{2} = -v_{k_1} \cdot t_1 \cdot \sin \alpha + \frac{g \cdot t_1^2}{2}. \quad (4)$$

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

$$t_1 = \frac{v_{k_{1y}} \cdot \sin \alpha}{g}. \quad (5)$$

Подставив равенство (5) в формулу (4) получим максимальную высоту h_1 подъема корнеплода:

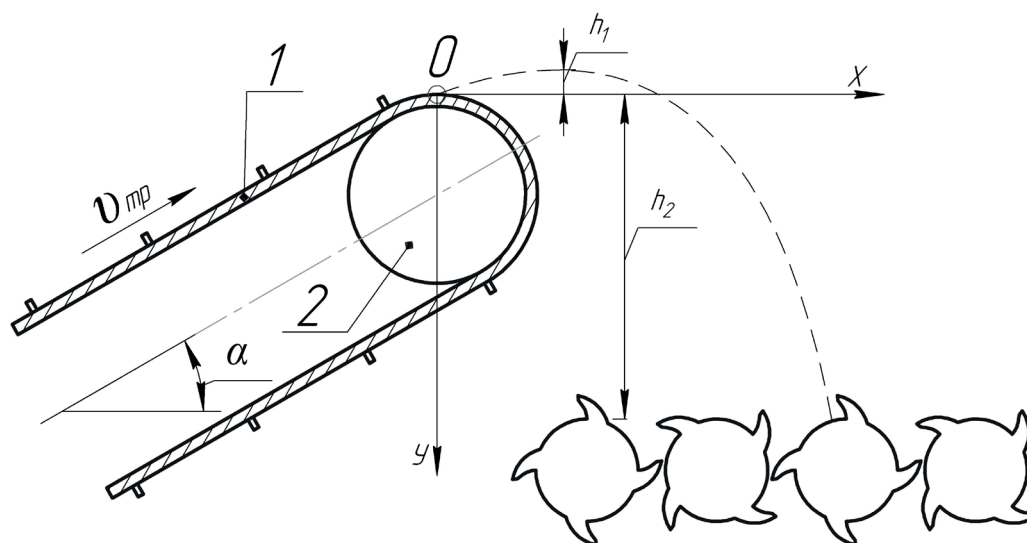
$$h_1 = \frac{v_{k_1}^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot g}. \quad (6)$$

После прохождения точки наивысшего подъема корнеплод будет двигаться по осям Ox и Oy со скоростями:

$$v_{k_{1x}} = v_{k_1} \cdot \cos \alpha, \quad (7)$$

$$v_{k_{1y}} = g \cdot t_2, \quad (8)$$

Уравнение траектории движения корнеплода после прохождения точки



1 — транспортер; 2 — шкив транспортера

Рис. 1. Схема к определению траектории движения корнеплода

наивысшего подъема получим из выражений (7) и (8) при начальных условиях $x_0 = 0$ и $y_0 = 0$:

$$x_{k_1} = v_{k_1} \cdot t_2 \cdot \cos \alpha, \quad (9)$$

$$y_{k_1} = \frac{g \cdot t_2^2}{2}. \quad (10)$$

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) к сумме высот, получим:

$$h_1 + h_2 = \frac{g \cdot t_2^2}{2}. \quad (11)$$

Выразив t_2 из (11), получим время нахождения корнеплода в полете после прохождения точки наивысшего подъема:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot (h_1 + h_2)}{g}}. \quad (12)$$

Тогда общее время полета корнеплода равно:

$$t = t_1 + t_2 = \frac{v_{k_1y} \cdot \sin \alpha}{g} + \sqrt{\frac{2 \cdot (h_1 + h_2)}{g}}.$$

Зная скорость корнеплода по осям Ox и Oy , можно определить скорость паде-

ния корнеплода на кулачковый землеотделитель:

$$v_{k_1n} = \sqrt{v_{k_1x}^2 + v_{k_1y}^2}. \quad (13)$$

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

$$v_{k_1n} = \sqrt{v_{k_1}^2 + 2 \cdot h_2 \cdot g}. \quad (14)$$

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

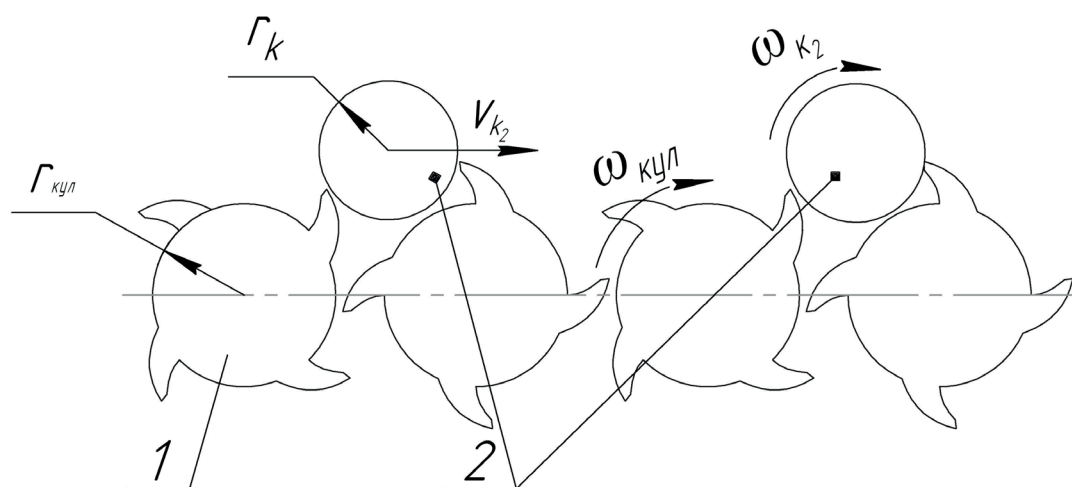
II. Движение корнеплодов

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 направлении движения корнеплодов.

Корнеплоды, движущиеся по землеотделителю, приобретают линейную скорость:

$$v_{k_2} = \omega_{кул} \cdot r_{кул}. \quad (15)$$



1 — кулачок; 2 — корнеплоды

Рис. 2. Схема к определению движения корнеплода по кулачковому землеотделителю

где v_{k_2} — 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:

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

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

III. Движение корнеплода в приемной камере укладочного транспортера после схода с кулачкового землеотделителя

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

Схема к определению траектории полета корнеплода приведена на рис. 3.

Выберем начало координат в точке O , где корнеплод сходит с кулачкового транспортера и начинает свободный полет.

Ось Ox направим горизонтально, ось Oy — перпендикулярно вниз, ускорение свободного падения g также направлено вниз. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

В начальный момент времени по оси Ox ускорение корнеплода равно 0 ($v_{k_3Ox} = 0, a_{k_3x} = 0$). Его поступательная скорость удет равна скорости его движения в конце улачкового землеотделителя ($v_{k_3Ox} = v_{k_3}, v_{k_3Ox} = v_{k_3}$) и может быть определена по выражению (15).

В начальный момент времени по оси Oy 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 зависимости (18) после преобразований получим время падения корнеплода в приемной камере:

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

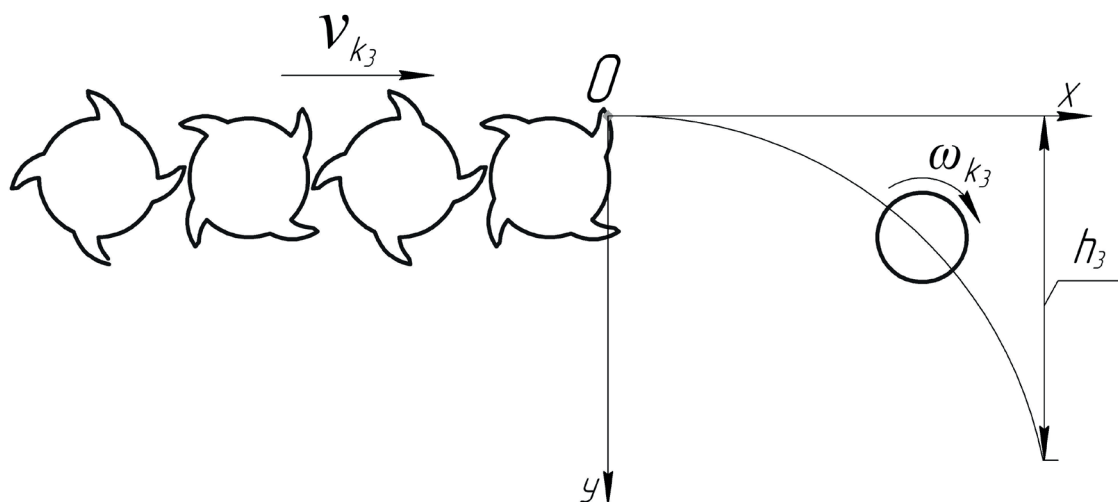


Рис. 3. Схема движения корнеплода в приемной камере

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

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

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 (21) позволит определить количество оборотов корнеплодов в приемной камере.

Результаты и обсуждение. При определении оптимальных мест установки оборудования для нанесения жидких консервантов на поверхности корнеплодов сахарной свеклы обоснован выбор приемной камеры укладочного транспортера [2, 4]. При заданной ее высоте следует выбрать такие кинематические режимы работы транспортно-очистительных механизмов буртоукладочной машины, чтобы

при движении в камере корнеплод совершил один полный оборот для полного покрытия его поверхности каплями консерванта. Из полученных в результате теоретических исследований выражений следует, что количество оборотов корнеплода определяется высотой камеры, угловой скоростью вращения кулачков землеотделителя, гео-метрическими параметрами кулачков и корнеплодов, время падения — высотой камеры.

Выводы. В результате теоретических исследований закономерностей движения корнеплодов сахарной свеклы по рабочим поверхностям буртоукладочной машины определены частота вращения и время их падения в приемной камере укладочного транспортера. Данные параметры, наряду с нормой внесения пестицидов, могут быть использованы при выборе оборудования для внесения жидких консервантов и обоснования режимов его работы.

Список литературы

1. Белорусский государственный концерн пищевой промышленности «Белгоспищепром» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://bgr.by/ru/shugar-ru/>. — Дата доступа: 27.06.2019.
2. Бычек, П. Н. Исследование технологической схемы буртоукладочной машины и обоснование места установки распыливающего устройства для внесения жидких консервантов [Текст] / 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.
3. Бычек, П. Н. Обзор и анализ мероприятий по повышению сохранности корнеплодов сахарной свеклы при ее длительном хранении [Текст] / 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.
4. Бычек, П. Н. Обоснование места установки распыливающего устройства для внесения жидких консервантов на буртоукладочной машине [Текст] / 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.
5. Национальный статистический комитет [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/selskoe-hozyaistvo/osnovnye-pokazateli-za-period-s-___-po-___-gody_6/valovoi-sbor-osnovnyh-selskohozyaistvennyh-kultur/. — Дата доступа: 26.06.2019.
6. О Государственной программе развития сахарной промышленности на 2011–2015 годы [Текст]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 23 марта 2011 г. № 359 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информац. Респ. Беларусь. — Минск, 2011.
7. О программах развития мясной, молочной, сахарной промышленности на 2005–2010 годы [Текст]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 15 июля 2005 г. № 792 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информац. Респ. Беларусь. — Минск, 2005.

8. Свиридов, А. В. Агробиологическое обоснование развития гнилей корнеплодов свеклы сахарной и столовой и разработка системы защиты по ограничению их вредоносности в Республике Беларусь [Текст]: автореферат дис. ... д-ра с.—х. наук: 06.01.07: защищена 22.12.2016: утв. 15.07.2017 / Свиридов Александр Викторович. — Гродно, 2016. — 48 с. — Библиогр.: с. 35–42.

THEORETICAL STUDIES OF THE MOVEMENT OF SUGAR BEET ROOTS ON THE SURFACES OF TRANSPORT AND CLEANING MECHANISMS OF THE BEET ROOT STACKER MACHINE

P. N. Bychek

State educational institution "Grodno Regional Institute

for Education Development", Grodno, Republic of Belarus. S. Kruk, Zh. I. Panteleeva

I. S. Kruk, Zh. I. Panteleeva Educational institution "Belarusian State Agrarian

Technical University", Minsk, Republic of Belarus

Summary. The article presents the results of theoretical studies on the regularities of movement of sugar beet roots along the transport and cleaning mechanisms of the beet root stacker machine, which include an inclined belt conveyor, a cam-shaped earth separator, a receiving chamber and an inclined belt stacking conveyor. The results obtained allow us to determine the rotation speed and time spent by a root crop in the receiving chamber of the stacking conveyor. It can be used to justify the equipment design and mode selection for applying liquid preservatives.

Keywords: transport and cleaning mechanisms, beet root stacker machine, sugar beet roots, movement of root crops, trajectory of movement.

УДК: 631.352

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ОПЕРАЦИИ КОШЕНИЕ ПРИ ЗАГОТОВКЕ СЕНАЖА ИЗ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ НА ОСНОВЕ ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЯ

А. В. Тюльнев

ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия»

Резюме. В данной статье представлены исследования по проведению сравнительного анализа среди технических ресурсов технологической линии по заготовке сенажа на основе энергоресурсосбережения. Исследования проводились на базе предприятия ООО «ПЗ «Пушкинское» Большеболдинского района Нижегородской области, географически расположенного на юго-востоке региона. Эксперимент включал в себя хронометражные наблюдения и их сравнительный анализ с данными, полученными путем имитационного моделирования технологических процессов. Наблюдения за ходом уборочных работ по заготовке сенажа проводились с 2016 по 2019 год. Объектом исследований были приняты самоходная косилка E-302 немецкой фирмы Fortschritt и механизированный агрегат немецкой фирмы CLAAS, состоящий из трактора AXION 850, агрегируемого с навесным комплексом, состоящим из косилки DISCO 1100 и двух косилок DISCO 3600. Объем работ составил 1500 га. Определены эксплуатационно-энергетические показатели технических ресурсов при кошении трав. По данным показателям проведен сравнительный анализ технических ресурсов, получен оптимальный состав машинно-тракторных агрегатов (МТА) и определен энергетически выгодный вариант эксплуатации техногенных