

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ БОТВЫ С ГОЛОВОК КОРНЕПЛОДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

THEORETICAL INVESTIGATIONS OF LEAF STRIPPER HEADS OF ROOTS

Владимир Булгаков¹, Николай Борис², Андрей Борис³

¹Национальный университет биоресурсов и природопользования
Украины, Киев 03041, Украина

Email: mechanics@nauu.kiev.ua

²Подольский государственный аграрно-технический университет,
г. Каменец-Подольский 32300, Украина

Email: imesg@rambler.ru

³Национальный научный центр “Институт механизации и
электрификации сельского хозяйства”,
сmt. Глеваха, 08631 Киевская обл. Украина

Email: aborys@ukr.net

На основании построенной математической модели взаимодействия копирующей части очистительного элемента нового отделителя ботвы с головкой корнеплода сахарной свеклы и решения полученных уравнений на ПЕОМ получены аналитические зависимости усилий указанного взаимодействия от конструктивных параметров копирующей части очистительного элемента. Значения полученных усилий были использованы в дальнейшем для силового анализа указанного динамического взаимодействия очистительного элемента с головкой корнеплода.

Математическая модель, ботва, корнеплод, головка корнеплода, рабочий элемент, площадь контакта, сила счесывания.

Введение

Сахарная свекла в мире является стратегической технической культурой, поскольку сахар, жом и зеленая масса ботвы являются полезными продуктами для людей и животных. Ключевым вопросом производства сахарной свеклы является её уборка. Особого внимания заслуживает операция среза ботвы с головок корнеплодов на корню. Незначительное количество остатков ботвы на головках корнеплодов перед их уборкой значительно ухудшает качественные показатели, что в целом может снизить качество продукции на 10-15%. Поэтому, отделение ботвы с головок корнеплодов сахарной свеклы является актуальным научно-техническим заданием.

Вопросами теоретических и экспериментальных исследований отделе-

ния ботвы с головок корнеплодов посвящены многие труды П. М. Василенка, В. М. Булгакова, Л. В. Погорелого, П. В. Савича, М. В. Татьяна и др.[1, 2, 3, 4, 13]. Так, в работах [1, 4] рассматриваются теоретические основы копирного среза и возникающие при нем динамические усилия, в работах [9, 10] изложены результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств корнеплодов и ботвы, однако более глубокое рассмотрение природы взаимодействия разных форм поверхностей рабочих органов с головкой корнеплода отсутствует.

Цель исследования

Аналитическое определение усилий, которые возникают в точке контакта рабочего элемента отделителя ботвы с головкой корнеплода сахарной свёклы.

Объект и методика исследования

Объектом данного исследования является процесс отделения ботвы от головок корнеплодов сахарной свёклы новым копирно-роторным отделителем ботвы.

Для проведения исследований использованы основные положения теоретической механики и сопротивления материалов, а также предыдущие исследования физико-механических свойств корнеплодов сахарной свёклы.

Рассмотрен случай, когда рабочий элемент проникает своей передней гранью в верхний слой головки корнеплода. Во время взаимодействия с головкой корнеплода рабочий элемент проходит сравнительно малое расстояние. Предыдущие исследования кинематики взаимодействия рабочего элемента с корнеплодом показали, что на таком расстоянии перемещения абсолютная скорость рабочего элемента изменяется незначительно. А поэтому дугу криволинейной траектории с достаточной степенью точности можно заменить прямой. Принимая во внимание эти обстоятельства, принято допущение о том, что при взаимодействии с головкой корнеплода, рабочий элемент движется прямолинейно с постоянной скоростью V (рис. 1) [6, 11, 12].

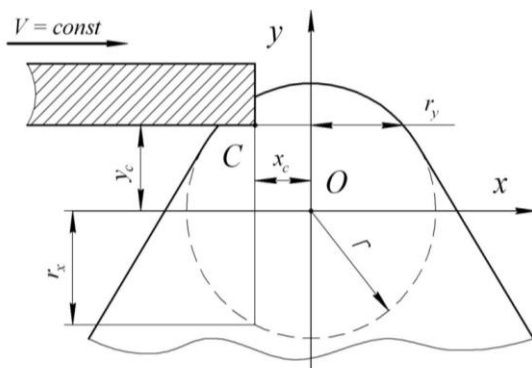


Рис. 1. Схема проникновения рабочего элемента в головку корнеплода
Fig. 1. The scheme of work item penetration into the head of root crops

В начальный момент времени проходит деформация первичного слоя головки корнеплода, а после того его смятие. Дальше проходит нарастание площади контакта передней грани с головкой корнеплода, растут напряжения и при определенной величине проникновения рабочего элемента проходит ее окончательный срез. Это произойдет в случае превышения усилиям смятия усилия среза остальной головки корнеплода:

$$P_{3м} \geq P_{зр}, \quad (1)$$

где $P_{3м}$ – усилие смятия головки корнеплода; $P_{зр}$ – усилие среза головки корнеплода.

Для определения критической величины проникновения рабочего элемента в головку корнеплода определим ее связь с величинами $P_{3м}$ и $P_{зр}$. Усилие смятия будет определяться текущей площадью контакта F_c и допустимыми контактными напряжениями смятия $[\sigma_{3м}]$ [7]:

$$P_{3м} = [\sigma_{3м}] F_c. \quad (2)$$

Площадь контакта определится площадью сегмента [7], образованного кругом, радиусом r_x и хордой, которая проходит на расстоянии y_c от оси Ox (рис. 1):

$$F_c = \frac{r_x^2}{2} (\beta - \sin \beta). \quad (3)$$

где β – угол сектора образован сегментом площади F_c ; r_x – радиус круга, который получен в результате пересечения сферы головки корнеплода плоскостью, которая проходит через контактную грань рабочего элемента.

Угол β сектора площади смятия и радиус r_x круга в плоскости смятия определим из таких выражений [5, 8]:

$$\beta = 2 \arccos \left(\frac{y_c}{r_x} \right), \quad (4)$$

$$r_x = \sqrt{r^2 - x_c^2}, \quad (5)$$

где r – радиус сферы головки корнеплода.

Учтя значение выражений (2–4), а также сделав алгебраические преобразования, окончательно получим зависимость усилия смятия головки корнеплода рабочим элементом от величины его проникновения x_c следующего вида:

$$P_{3м} = [\sigma_{3м}] \left\{ - \left(\frac{r^2}{2} - \frac{x_c^2}{2} \right) \left[\sin \left(2 \arccos \left(\frac{y_c}{\sqrt{r^2 - x_c^2}} \right) \right) \right] - 2 \arccos \left(\frac{y_c}{\sqrt{r^2 - x_c^2}} \right) \right\}. \quad (6)$$

Усилие среза головки корнеплода определяется площадью среза $F_{зр}$ и допустимым усилием среза головки корнеплода $[\tau]$ [7]:

$$P_{зр} = [\tau] F_{зр}. \quad (7)$$

Площадь среза головки корнеплода определим, как разницу площадей круга образованного в результате пересечения сферы плоскостью среза и площади сегмента образованного кругом радиусом r_y и хордой, которая проходит на расстоянии x_c от оси Oy (рис. 1):

$$F_{с\delta} = pr_y^2 - \frac{r_y^2}{2} (\gamma - \sin \gamma), \quad (8)$$

где γ – угол сектора образован сегментом площади $F_{зр}$.

Угол γ и радиус r_y определим аналогично выражениям (4) и (5):

$$\gamma = 2 \arccos \left(\frac{x_c}{r_y} \right), \quad (9)$$

$$r_y = \sqrt{r^2 - y_c^2}, \quad (10)$$

Учтя значение выражений (8 – 10) а, также сделав алгебраические преобразования, окончательно получим зависимость усилия среза головки корнеплода рабочим элементом от величины его проникновения x_c (рис. 1):

$$P_{с\delta} = [\tau] \left\{ - \left(\frac{r^2}{2} - \frac{y_c^2}{2} \right) \left[\sin \left(2 \arccos \left(\frac{x_c}{\sqrt{r^2 - y_c^2}} \right) \right) - 2 \arccos \left(\frac{x_c}{\sqrt{r^2 - y_c^2}} \right) \right] + p(r^2 - y_c^2) \right\}. \quad (11)$$

Результаты исследования

Подставив значение величин выражений (6) и (7) в неравенство (2) есть возможность определить критическое значение величины проникновения x_c , при котором состоится срез головки корнеплода. Найдены с помощью ПЕОМ графические решения неравенства (2) с учётом (6) и (11) отображены на рис. 2 и 3.

При расчетах приняты следующие значения параметров: $[\tau] = 1,14$ МПа [10], $[\sigma_{зм}] = 3,0$ МПа [9, 14, 15], $r = 0,025$ м, $y_c = 0,015 \dots 0,025$ м.

Как видим из графических зависимостей (рис. 2) максимальное усилие срезания $P_{зр}$ будет определяться максимальным значением силы смятия головки корнеплода. Сила среза будет равна силе смятия при высоте счесывания головки ровной 10 мм.

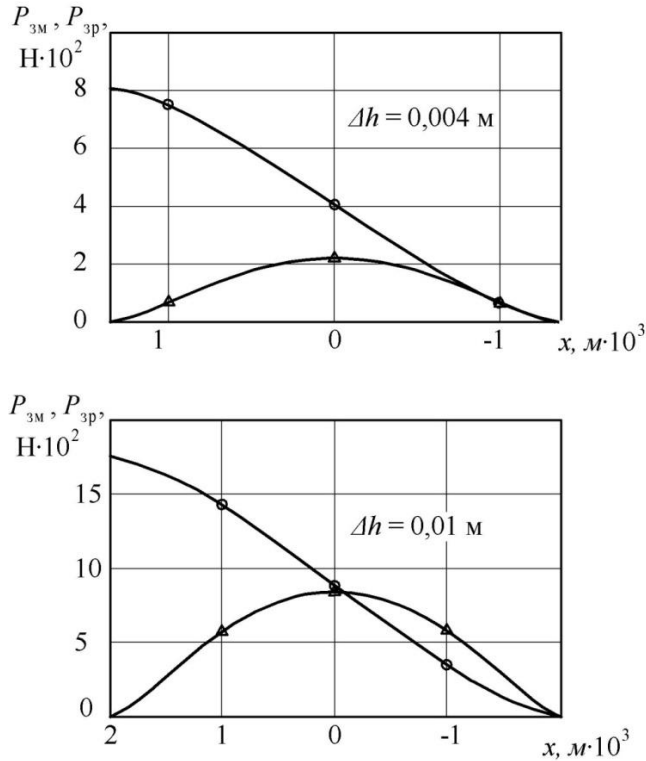


Рис. 2. Зависимости усилий: $\overline{\overline{\text{---}}}$ – среза P_{3p} и $\overline{\overline{\text{---}}}$ – смятия P_{3m} от высоты среза Δh . x – величина проникновения рабочего элемента в головку корнеплода.

Fig. 3. Depending effort: $\overline{\overline{\text{---}}}$ – cut P_{3p} and $\overline{\overline{\text{---}}}$ – collapse P_{3m} of Cutting height Δh . x - the value of penetration into the head of the working element root.

Но при этом усилия счесывания будут составлять 820 Н, что значительно превышает допустимые усилия стойкости корнеплода в почве (рис. 2). Очевидно, что перепад высот смежных рабочих элементов Δh не должен превышать 4 мм. Из данного условия определяется значение параметра кинематической связи между рабочими элементами $\Delta\varphi = 2^\circ$. Таким образом, при дальнейших расчетах можно принять максимальное значение силы счесывания $Q = 200 \text{ Н}$.

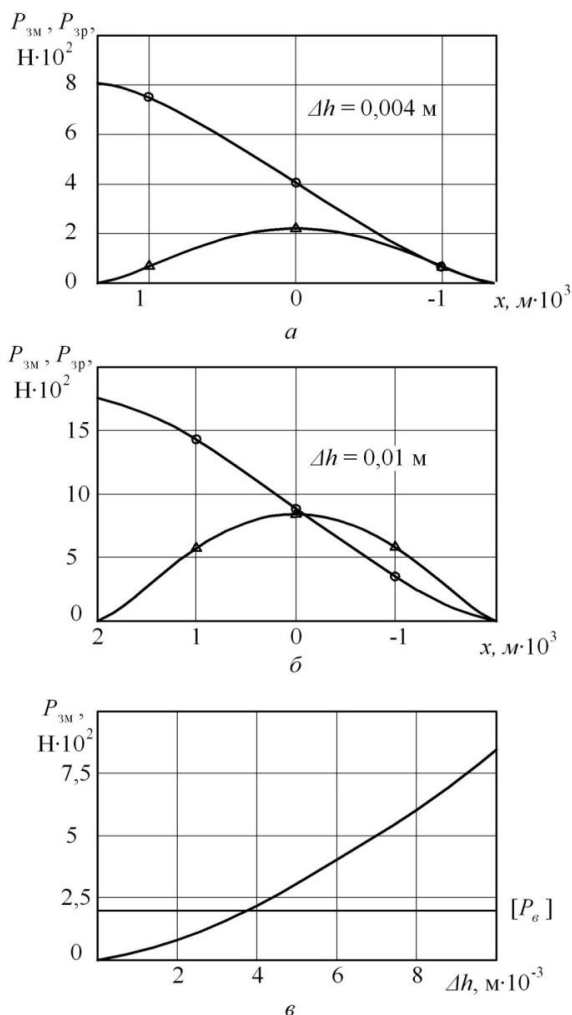


Рис. 3. Зависимость суммарного максимального усилия смятия головки от высоты среза Δh . x – величина проникновения рабочего элемента в головку корнеплода.

Fig. 3. Dependence of the total maximum force crushing the head of the cutting height Δh . x - the value of penetration into the head of the working elementa root.

Выводы

1. Впервые получены аналитические выражения, которые описывают процессы смятия и последующего среза головки корнеплода в процессе отделения ботвы новым копирно-ротаторным отделителем ботвы.
2. Установлено значение критической величины проникновения очистительного элемента в головку корнеплода, при котором не происходит выбивание головок, которое равно $\Delta h = 4 \text{ мм}$.
3. Установленное максимальное значение силы счесывания, которое равно 200 Н.

4. Полученные расчетные зависимости и значения нормальной реакции и силы счесывания являются основой для построения математической модели динамического взаимодействия системы рабочих элементов с головкой корнеплода.

Список литературы

1. Булгаков, В.М. Теория свеклоуборочных машин. Монография. Киев: Издательский центр НАУ, 2005. 245 с.
2. Василенко, П. М.; Погорелый, Л. В. Основы научных исследований (Механизация сельскохозяйственного производства). К.: Высшая школа, 1984. – 266 с.
3. Комплексная механизация производства сахарной свеклы / [А. А. Василенко, П. Т. Бабий, П. В. Савич и др.]. К., 1962. 243 с.
4. Погорелый, Л. В.; Татьяна, Н. В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз. К.: Феникс, 2004. 232 с.
5. Фильчаков, П. Ф. Справочник по высшей математике / П. Ф. Фильчаков. К.: Научная мысль, 1974. 743 с.
6. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики: учебн. [для высш. технич. заведений] / С. М. Тарг. М.: Высш. шк., 1986. 416 с.
7. Писаренко, Г. С. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Киев: “Наукова думка”, 1975. 704 с.
8. Основные математические формулы / [Воднев В.Т., Наумович А.Ф., Наумович Н.Ф.]; под ред. Ю. С. Богднова. Минск.: Вышэйшая школа, 1988. 255 с.
9. Хелемендик, М. М. Повышение механико-технологической эффективности трудоемких процессов в свекловодстве: автореф. дис. на получение науч. степени докт. техн. наук.: спец. 05.20.01 “Механизация сельскохозяйственного производства” / М. М. Хелемендик. Тернополь: ТП, 1996. 48 с.
10. Хелемендик Н. М. Исследование технологического процесса и рабочих органов для уборки сахарной свеклы в условиях Западной Степи УССР: Дисс. канд. техн. наук.: 05.410 / Хелемендик Николай Михайлович. Воронеж, 1968. 31 с.
11. Бать, М. И. Теоретическая механика в примерах и задачах: уч. пособие / Бать М. И., Джанилидзе Г. Ю., Кельзон А. С. М.: Наука 1973. 488 с.
12. Бутенин, Н. В. Курс теоретической механики / Бутенин Н. В., Лунц Я. Л., Меркин Д. Р. Т.2. М.: Наука, 1985. 496 с.
13. Механико-технологические свойства сельскохозяйственных материалов: практикум / [Войтюк Д. Г., Царенко О. М., Яцун С. С. и др.]; за ред. С. С. Яцуна. К.: Аграрное образование, 2000. 93 с.

Vladimir Bulgakov, Nikolaj Boris, Andrij Boris

THEORETICAL INVESTIGATIONS OF LEAF STRIPPER HEADS OF ROOTS

Abstract

On the basis of the constructed mathematical model of copying parts cleaning element of the new trap with a head toppler sugar beet roots and solutions to these expressions PC analytical efforts of this interaction depends on the design parameters of the cleaning element copying. The values obtained were used in the effort to further analysis of the power of this dynamic interaction with the head cleaning element root.

Mathematical model, tops, roots, crown roots, work item, contact area, combing force.

Vladimir Bulgakov, Nikolaj Boris, Andrij Boris

CUKRINIŲ RUNKELIŲ LAPŲ DAUŽIKLIO TEORINIAI TYRIMAI

Santrauka

Sudarytas cukrinių runkelių kopijuojančio lapų daužiklio sąveikos su šakniavaisio galvute matematinis modelis. Matematinio modelio pagrindu atlikta kompiuterinė analizė ir gautos kopijuojančio cukrinių runkelių lapo daužiklio konstrukcinių parametrų įtakos sąveikai analitinės lygtys. Gautos sąveikos jėgų reikšmės panaudotos tolesnei jėginei dinaminės sąveikos tarp cukrinių runkelių kopijuojančio lapų daužiklio ir šakniavaisio galvutės analizei.

Matematinis modelis, lapai, šakniavaisis, šakniavaisio galvutė, darbinis elementas, kontaktinis plotas, šukavimo jėga.