

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОСЕВА НА ПОТЕРИ САХАРНОЙ МАССЫ В ПРОЦЕССЕ ОТДЕЛЕНИЯ БОТВЫ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Николай Борис, Александр Стрельчук, Валерий Грубый, Елена Ткаченко
Подольский государственный аграрно-технический университет
Ул. Шевченка, 13, Каменец-Подольский, Украина. E-mail: rosyna@i.ua

Nicholay Boris, Alexander Strel'chuk, Valeriy Grubiy, Elena Tkachenko
Podolskiy State Agrarian and Engineering University
St. Shevchko, 13, Kamenets-Podolskiy, Ukraine. E-mail: rosyna@i.ua

Аннотация. По результатам испытаний количество корнеплодов с высотой ботвы более 2 см составляла у машин с бескопирным срезом ботвы в среднем 2%; высокосрезанных корнеплодов – 26,6; низкосрезанных – 7,5, а среднесрезанных корнеплодов – 60,1%. Такая статистика свидетельствует о наличии потерь сахарной массы и значительных остатках ботвы на корнеплодах. Ранее проведенными исследованиями теоретически определены зависимости потерь сахароносной массы при разных агрофизических характеристиках посевов и технологических параметрах рабочих органов. Теоретическими исследованиями выявлено, что в результате применения бескопирного среза качество удаления недостаточно и возможны отходы сахароносной массы в ботву, что превышает агротехнические требования. Данными исследованиями развивается математическая модель рабочего процесса срезания головок сахарной свеклы с помощью комбинированного среза. Установлена зависимость потерь сахарной массы от статистических характеристик высоты выступления головок корнеплодов и густоты корнеплодов на одном гектаре, которые в свою очередь, могут варьировать в широких пределах. В результате увеличения толщины среза головки, содержимое остатков ботвы на корнеплодах снизится, но повысится потеря сахароносной массы. Установлено, что при экстремальных значениях статистических характеристик высоты выступления головок корнеплодов и их густоты потери сахарной массы превышают агротехнические требования вдвое. Обоснована необходимость создания автоматической системы регулировки высоты бескопирного среза головок корнеплодов перед копирной дообрезкой.

Ключевые слова: сахарная свекла, математическая модель, статистические характеристики посевов, потерянная масса, срез без копирования.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Уборка сахарной свеклы является одной из наиболее трудоемких и энергоемких операций в агропромышленном производстве. Учитывая то, что Украина принадлежит к высокоразвитым свеклосеющим странам Европы и мира и сахар является одним из стратегических продуктов питания, отечественному сельскохозяйственному машиностроению необходимо наладить выпуск свеклоуборочных машин, функциональные и эксплуатационные пока-

затели которых должны соответствовать уровню лучших мировых аналогов.

Повышение качественных показателей процесса уборки сахарной свеклы является комплексной научно-технической проблемой, решение которой должно базироваться на поиске новых конструктивных решений рабочих органов и компоновочных схем машин, с конечной целью анализа и синтеза оптимальных их параметров [3, 17].

Большинство из предложенных ботвосрезальных аппаратов этих машин имеют общие для всех рабочих органов проблемы, связанные с копированием головок корнеплодов, расположенных на разной высоте выступления над уровнем поверхности почвы, различных их отклонений от осевой линии рядка, наличии на головках сухой и павшей ботвы и т.д. [3].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Около 50 лет ученые работают над усовершенствованием технологического процесса и созданием новых рабочих органов, которые позволят качественно отделять ботву сахарной свеклы на скоростях более 2 м/с.

Научные исследования технологического процесса и рабочих органов для отделения ботвы отражены в работах Л.В. Погорелого, В.М. Булгакова, Н.В. Татьяна, В.Я. Мартыненко, Н.М. Зуева, Н.М. Хелемендика, С.А. Топоровской, Н.Г. Березового, А.П. Гурченко, Н.М. Бориса, А.А. [3-17] и др. Но данные исследования ориентированы на традиционные технологии и рабочие органы для отделения ботвы.

При малейших потерях сахарной массы наиболее полно ботва отделяется копирным срезом, но при этом скорость выполнения технологического процесса превышает 1,5 м/с. Ограниченность копирного среза заставила искать другие технологические решения. Использование известных роторных ботвосрезателей значительно увеличило энергоемкость процесса. Наряду с этим рабочая скорость процесса увеличилась по сравнению с копирными аппаратами всего на 0,5 м/с (от 1,5 до 2,0 м/с). Таким образом, машинами для отделения ботвы не достигнуто рабочих скоростей соразмерных со скоростями корнеуборочных машин.

В последнее время ряд фирм (Aloway Indastris, Grimme [1-2, 5]) в процессе дообрезания головок корнеплодов от ботвы используют копирные ботвосрезальные аппараты активного типа с уменьшенной массой. По нашему мнению, это является возвратом к известным механико-технологическим принципам отделения ботвы, что не обеспечит существенного повышения скорости.

По нашему мнению создание эффективных рабочих органов с использованием центробежных сил для восстановления их первоначального положения и копирования головок корнеплодов является перспективным направлением развития конструкций. В технологическом плане перспективным является использование для отделения ботвы бескопирного среза корнеплодов, которые высоко выступают над поверхностью почвы с последующим копирным дообрезанием головок корнеплодов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель наших исследований – установить зависимость потерь сахарной массы от статистических характеристик высоты выступления головок корнеплодов и густоты корнеплодов на одном гектаре, которые в свою очередь, могут варьировать в широких пределах.

Определить экстремальные значения статистических характеристик высоты выступления головок корнеплодов и их густоты при которых потери сахарной массы превышают агротехнические требования.

Обосновать необходимость создания автоматической системы регулировки высоты среза головок корнеплодов.

Методы исследования. Исследование проведено с использованием методов теории вероятностей и математического моделирования.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В результате применения бескопирного среза качество удаления недостаточное и возможны отходы сахарной массы в ботву, которые превышают агротехнические требования. Вследствие увеличения толщины среза головки содержание остатков ботвы на корнеплодах снизится, но повысятся потери сахарной массы.

По результатам испытаний [5, 19-20] количество корнеплодов с высотой ботвы более 2 см составляла у машин данной технологической схемы в среднем 2%; высокосрезанных корнеплодов – 26,6; низкосрезанных – 7,5, а среднесрезанных корнеплодов – 60,1%. Такая статистика свидетельствует о наличии потерь сахарной массы и значительных остатках ботвы на корнеплодах. В работе [3] установлено, что основным фактором, который влияет на потери сахарной массы при бескопирном срезе, есть распределения высот выступления головок корнеплодов над уровнем почвы, в частности математическое ожидание и стандартное отклонение.

Также известно, что указанные факторы могут варьировать в широких пределах и отличаться для разных посевов сахарной свеклы. В основном эти факторы формируются агротехникой выращивания

сахарной свеклы и почвенно-климатическими условиями. Наряду со статистическими характеристиками распределения высот выступления головок корнеплодов, на объем потерь сахарной массы сильно влияет их количество на одном гектаре. Поэтому очень важно исследовать степень комплексного воздействия указанных факторов на потери сахарной массы.

Для этого используем известную параметрическую модель головки корнеплода и ботвы [3, 7-8, 15-16]. Модель головки приведена на рис. 1.

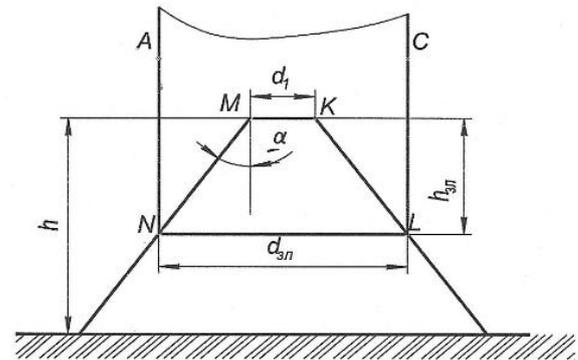


Рис. 1. Модель головки корнеплода

Fig. 1. Model heads root

Функциональные зависимости параметров головки корнеплода и ботвы имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} h_{3n} &= a \cdot h + b; \\ d_1 &= m \cdot h + n; \\ d_{3n} &= d_1 + 2 \cdot h_{3n} \cdot \operatorname{tg} \alpha \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где: h_{3n} – расстояние от вершины головки к основанию зеленых листьев; h – высота выступления головки; d_1 – диаметр вершины головки корнеплода; d_{3n} – диаметр пучка ботвы; a – половина угла конусности головки; a, b, m, n – постоянные величины.

Потери сахарной массы и остатки ботвы для корнеплодов заданного интервала высот выступления определяем по формуле:

$$M_i = F(h_i; h_3) \cdot P(h_i; h_{i+1}) \cdot N_i, \quad (2)$$

где: $F(h_i; h_3)$ – потери сахарной массы или остатки ботвы для корнеплода $F(h_i; h_3) = V_k \cdot \rho$, для ботвы $F_c(h_i; h_{3c}) = V_c \cdot \rho_c$, где V_k, ρ и V_c, ρ_c – соответственно объем и плотность корнеплода и ботвы; N_i – количество корнеплодов заданного интервала на единице площади; $P(h_i; h_{i+1})$ – вероятность появления данного интервала высоты выступления головок корнеплодов, определяется по формуле 3:

$$P(h_i; h_{i+1}) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{h_i}^{h_{i+1}} \exp\left(-\frac{(h-m)^2}{2\sigma^2}\right) dh. \quad (3)$$

Интеграл в выражении 3 не определяется в квадратурах, поэтому вероятность появления корнеплодов заданного интервала высоты выступления определяем численным интегрированием по формуле Симпсона. Просуммировав остатки ботвы и потери сахарной массы для всех интервалов высоты выступления, получим суммарные остатки ботвы и потери сахарной массы на единицу площади – выражения 4 и 5:

$$BM = \sum_{i=a}^b \left[N \cdot F \left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2}; h_c \right) \cdot \left(\frac{h_{i+1} - h_i}{3m} \sum_{j=0}^m c_j \cdot f(h) \right) \right], \quad (4)$$

$$GM = \sum_{i=a}^b \left[N \cdot F_c \left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2}; h_c \right) \cdot \left(\frac{h_{i+1} - h_i}{3m} \sum_{j=0}^m c_j \cdot f(h) \right) \right], \quad (5)$$

где: m – количество интервалов: $m = 2U$; $U=1,2,3,4,\dots$; c_j – коэффициент при значениях подинтегральной функции в соответствующих точках, $c_j = 1, 2, 3, 4, 2, 4, \dots, 2, 4, 1$.

Рассчитаны потери сахарной массы и остатки ботвы на корнеплодах в зависимости от среднеквадратического отклонения и густоты растений на одном га. Для этого был использован алгоритм [3], составлена программа в среде программирования MS Excel 2010 и построены графики указанных зависимостей (рис. 2).

Расчет потерь сахарной массы проводился в рабочем диапазоне высоты бескопирного среза головок корнеплодов 60-80 мм [4, 12, 14].

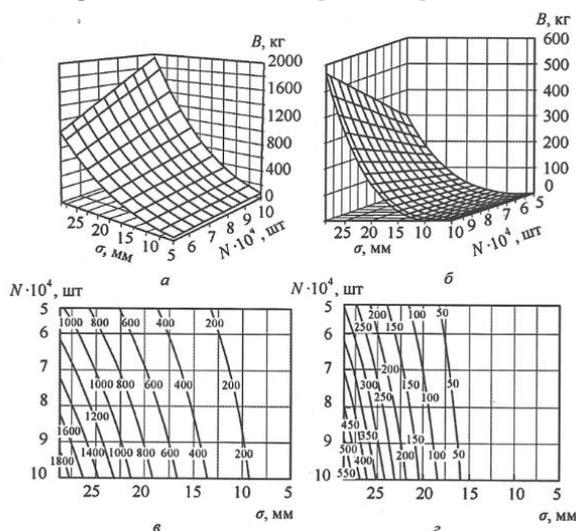


Рис.2. Зависимости потерь сахарной массы при высоте среза без копирования 60 мм (а) и 80 мм (б); двумерные сечения указанных зависимостей при высоте среза без копирования 60 мм (в) та 80 мм (г)

Fig. 2. Dependent loss of sugar mass at the height of cut without copying 60 mm (a) and 80 mm (b); two-dimensional cross-section of these dependencies at the height of cut without copying 60 mm (v) and 80 mm (r)

Исходя из графических зависимостей рис. 2, можно утверждать, что потери сахарной массы резко возрастают при увеличении обоих факторов среднеквадратического отклонения и густоте корнеплодов на одном гектаре.

Следует заметить, что в случае нижней границы рабочего диапазона высоты бескопирного среза головок корнеплодов (рис. 2 б, г) полностью выдерживаются агротехнические требования по потерям сахарной массы, но в этом случае следует ожидать

превышения загрязненности ботвой вороха корнеплодов и поэтому здесь целесообразно было бы автоматически снизить указанную высоту среза. В случае же верхней границы высоты бескопирного среза существует недопустимая зона по агротехническим требованиям потерь сахарной массы (более 2% от общей массы корнеплодов) (рис. 2 а, в) и в этом случае целесообразно увеличивать высоту бескопирного среза, чтобы не допустить чрезмерных потерь сахароносной массы.

Учитывая указанные выше особенности отделения ботвы сахарной свеклы бескопирным срезом, возникает необходимость создания автоматической системы регулировки высоты среза головок корнеплодов. Функциями такой системы является постоянный мониторинг размерных характеристик корнеплодов, определения их статистических характеристик и непрерывная во времени оптимизация высоты среза для предотвращения чрезмерных потерь сахарной массы.

ВЫВОДЫ

1. В результате исследования установлено, что потери сахарной массы зависят от статистических характеристик высоты выступления головок корнеплодов и густоты корнеплодов на одном гектаре, которые в свою очередь, могут варьировать в широких пределах.

2. Установлено, что при экстремальных значениях статистических характеристик высоты выступления головок корнеплодов и их густоты потери сахарной массы превышают агротехнические требования вдвое.

3. Обоснована необходимость создания автоматической системы регулировки высоты среза головок корнеплодов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Погорельый Л.В., Татьяна Н.В. 2004.** Свеклоуборочные машины: История, конструкция, прогноз. – К.: Феникс, 232.
2. **Булгаков В.М. 2005.** Теория свеклоуборочных машин. – К.: Издательский центр НАУ, 245. (Украина).
3. **Борис Н. М. 2009.** Обоснование технологического процесса и параметров рабочего органа для отделения ботвы сахарной свеклы: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.05.11 “Машины и средства механизации сельскохозяйственного производства” / Н.М. Борис. – Винница, 20. (Украина).
4. **Борис Н.М. 1997.** Моделирование процесса среза ботвы с корнеплодов сахарной свеклы. Сборник научных трудов Национального аграрного университета. Перспективные технологии выращивания и уборки сахарной свеклы. Т. 2, К. - НАУ, 77-80. (Украина).
5. **Bulgakov V., Holovach I., Berezovyy M., Eremenko O. 2006.** Development and Research of the New Haulm Gatherer. MOTROL, 8A, 80–97.

6. **Булгаков В.М., Сипливец А.А. Березовый Н.Г., Зыков П.Ю. 1997.** Разработка конструкции новой универсальной ботвоуборочной машины. Сб. науч. работ Национального аграрного университета. Механизация сельскохозяйственного производства. Т. III. Киев: НАУ, 76–77.
7. **Булгаков В.М., Войтюк Д.Г., Цурпал І.А. 1997.** Создание нового универсального комплекса свеклоуборочных машин для фермерских хозяйств. Сб. науч. работ. Проблемы конструирования, производства и эксплуатации сельскохозяйственной техники. Кировоград: КИСМ, 14–19. (Украина).
8. **Босой Е.С. 1967.** Режущие аппараты уборочных машин. Теория и расчет. Машиностроение, 167.
9. **Босой Е.С., Верняев О.В., Смирнов И.И., Султан-Шах Е.Г., 1978.** Под ред. Е.С. Босого. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин: Учебник для вузов сельскохозяйственного машиностроения. Машиностроение, 568.
10. **Вентцель Е.С. 1964.** Теория вероятностей. М.: Наука, 576.
11. **Гутьяр Е.М. 1931.** К теории резания стеблей. Сельхозмашина, 7, 12–13.
12. **Irina Fabrichnikova, Vladimir Kolomiets. 2013.** Разработка и внедрение комплексного способа упрочнения свеклорезных ножей для срезания стружки. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture –Vol.15. No 7. 129–135. 129.
13. **Ишлинский А.Ю. 1937.** Задача о скорости косыбы злаков. Сельхозмашина, 5–6, 8–12.
14. **Зуев Н. М. 1988.** Бескопирный срез головок корнеплодов / Зуев Н. М., Топоровский С. А. // Сахарная свекла. – № 6. 42 – 45.
15. **Татьянко Н.В. 1962.** Расчет рабочих органов для обрезки ботвы сахарной. Тракторы и сельхозмашины 11, 18–21.
16. **Татьянко Н.В. 1967.** Исследование и усовершенствование аппарата для срезания ботвы с корнями сахарной свеклы до их выкопки: Автореф. дис. канд. техн. наук. Харьков, 28.
17. **Топоровский С.А. 1988.** Обоснование технологического процесса и основных параметров рабочего органа для уборки ботвы сахарной свеклы без копирования головок корнеплодов. /Автореф. на соискание ученой степени кандидата. техн. наук. К., 19.
18. **Фильчаков П.Ф. 1974.** Справочник по высшей математике. К.: Научная мысль, 743.
19. **Хвостов В.А., Рейнгарт Э.С. 1995.** Машины для уборки корнеплодов и лука (теория, конструкция, расчет). Висхом, 391.
20. Результаты независимых испытаний [Электронный ресурс] // Сельскохозяйственная техника. – 2007. – № 1. – Режим доступа до журналу: <http://russia.profi.com>.

THEORETICAL RESEARCH OF INFLUENCE OF PARAMETERS OF SOWING IS ON LOSSES OF SUGAR-BEARING MASS IN THE PROCESS OF SEPARATION OF TOPS OF SUGAR BEETS

Summary. As a result of application of not copied cut quality of moving away unsuffices and wastes of sugar-bearing mass are possible in tops, that exceed agrotechnical requirements. As a result of increase of thickness of cut of head content of bits and pieces of tops will go down on root crops, but the losses of sugar-bearing mass will rise. On results tests amount of root crops with the height of tops presented a more than 2 cm at the machines of this flowsheet on the average 2%; high-cut away root crops - 26,6; cut away low - 7,5, and cut away satisfactorily root crops - 60,1%. Such statistics testifies to the presence of losses of sugar-bearing mass and considerable bits and pieces of tops on root crops. These results over are brought for the middle working rate of movement of machines 6 km/h., what is the small rate of movement and the choice of her is pre-defined by aspiration to get satisfactory quality of work of passive to cut as possible. To dig up working organs can work on considerably high speed. In-process it is set that by a basic factor that influences on the losses of sugar-bearing mass at a not copied cut there is distribution of heights of performance of heads of root crops above the level of soil, in particular, him statistical descriptions mathematical hope and standard deviation. Also it is known that the indicated factors can vary in wide limits and differ for the different sowing of sugar beets. Mainly these factors of by the agrotechnics of growing of sugar beets and ground-climatic we by terms. Next to statistical descriptions of distribution of height of performance of heads of root crops on the size of losses of sugar-bearing mass strongly their amount influences on one hectare.

Key words: sugar beet, a mathematical model, the statistical characteristics of crops, lost weight, cut without copying.