

Настраиваемые параметры рабочих органов для уборки корнеклубнеплодов

В.М. Мартынов, д.т.н., Г.П. Юхин, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ; А.С. Путрин, д.т.н., профессор, П.И. Огородников, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ; Л.В. Межуева, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Оренбургский ГУ

Для природно-климатических условий большей части территории РФ и нынешнего экономического положения страны наиболее приемлем вариант уборки корнеклубнеплодов производительной, но конструктивно простой, универсальной и недорогой техникой, в количестве, обеспечивающем уборку в установленные агротехнические сроки [1]. Универсализация машин позволяет увеличить их загрузку за счёт использования на уборке разных культур в разные, но оптимальные агротехнические сроки. Упрощение конструкции машин для уборки корнеплодов и картофеля достигается применением в их составе многофункциональных рабочих органов, что приводит к снижению массы и стоимости уборочной техники на 20–40% [1, 2].

Различное размещение в почве и над почвой корнеклубнеплодов в зависимости от вида, сорто-типа и урожайности предопределяет для универсальной техники необходимость в настройке параметров в первую очередь ботвоудаляющих и выкапывающих устройств.

Цель исследования — обосновать настраиваемые параметры рабочих органов для уборки корнеклубнеплодов с учётом особенностей убираемых культур.

Материал и методы исследования. Поставленная цель решалась с помощью теоретических методов исследования.

Результаты исследования. Для удаления основной массы урожая ботвы применяют ботворезы [2–6], качество работы которых определяется правильностью установки высоты среза: высокий срез приводит к засорённости убранных вороха корнеплодов ботвой и её потере, а низкий срез — к повреждаемости корнеплодов. Установим влияние высоты среза на качественные показатели процесса удаления ботвы.

Средний размер оставшихся после верхнего среза черешков ботвы рассчитываем по формуле:

$$\Delta l = \int_0^{a_c} (a_c - h_k) f(h_k) dh_k, \quad (1)$$

где a_c — высота среза ботвы над поверхностью почвы (рис. 1);

$f(h_k)$ — закон распределения высоты h_k расположения головок корнеплодов над почвой.

Многолетняя статистическая обработка данных для разных сортов кормовой свёклы при различной её урожайности и густоте насаждения [7, 8] показала, что в качестве $f(h_k)$ может быть принят

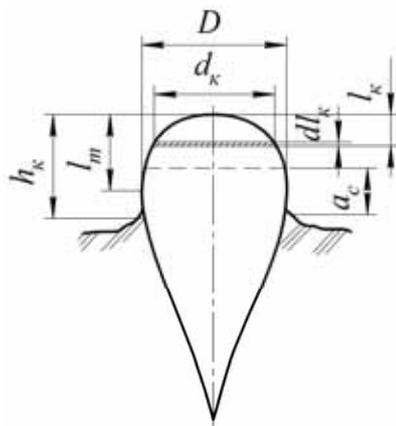


Рис. 1 – Схема для расчёта массы m_c срезанной части головки корнеплода

нормальный закон распределения, причём коэффициент вариации для h_k лежит в пределах 40–50% и в среднем составляет 45%, т.е. $\sigma = 0,45\bar{h}_k$ и

$$f(h_k) = 0,887 \exp\left[-2,469\left(h_k / \bar{h}_k - 1\right)^2\right] / \bar{h}_k, \quad (2)$$

где σ – среднее квадратичное отклонение признака h_k ;
 \bar{h}_k – средняя высота расположения головок корнеплодов над почвой.

Правильная установка высоты среза не приводит к повреждению корнеплодов из-за чрезмерно низкого среза, но обеспечивает наименьшую длину черешков. Для этого необходимо ограничить процент отхода массы головок корнеплодов в ботву на уровне 1–2%:

$$\delta_m = \frac{100}{\bar{m}_k} \int_{a_c}^{2,35\bar{h}_k} m_c f(h_k) dh_k, \quad (3)$$

где \bar{m}_k – средняя масса корнеплода;
 m_c – масса срезанной части корнеплода.

В качестве верхнего предела интегрирования принята величина $\bar{h}_k + 3\sigma = 2,35\bar{h}_k$, что соответствует доверительной вероятности 99%.

Рассмотрим срез головки корнеплода на высоте a_c над уровнем почвы (рис. 1):

$$m_c = \frac{\pi \rho_k}{4} \int_0^{h_k - a_c} d_k^2 dl_k, \quad (4)$$

где ρ_k – плотность корнеплода;
 d_k – диаметр корнеплода в каждом сечении по длине l_k корнеплода.

С учётом принятой для описания формы корнеплода зависимости [2]:

$$d_k = 2\sqrt{k_\phi l_k D} - k_\phi l_k, \quad (5)$$

где k_ϕ – коэффициент формы корнеплода, после интегрирования (4) получим:

$$m_c = \pi \rho_k k_\phi (h_k - a_c)^2 \left[6D - 4,8\sqrt{k_\phi D (h_k - a_c)} + k_\phi (h_k - a_c) \right] / 12. \quad (6)$$

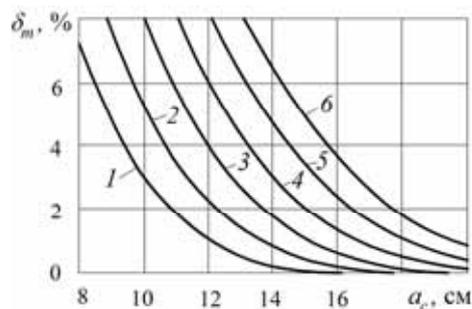


Рис. 2 – Зависимость отхода δ_m массы головок корнеплодов кормовой свёклы сорта Победитель в ботву от высоты a_c её среза при средней высоте расположения корнеплодов над поверхностью почвы: 1–8 см; 2–9 см; 3–10 см; 4–11 см; 5–12 см; 6–13 см

Для расчёта по этой формуле необходимо воспользоваться регрессионной зависимостью диаметра D корнеплода от h_k [2, 7, 8].

Средняя масса корнеплода рассчитывается по выражению:

$$\bar{m}_k = \int_0^{2,35\bar{h}_k} m_k f(h_k) dh_k. \quad (7)$$

Масса m_k корнеплода находится также в регрессионной зависимости от высоты h_k [2, 7, 8]. Процент δ_m отхода массы головок корнеплодов вычислялся по вышеприведённым формулам с применением ЭВМ. Полученная зависимость δ_m от высоты a_c для кормовой свёклы сорта Победитель при различной высоте \bar{h}_k возвышения корнеплодов над почвой приведена на рисунке 2.

Процентное отношение η_ε массы корнеплодов с черешками ботвы длиной свыше заданного размера ε к общей массе корнеплодов определяется по формуле:

$$\eta_\varepsilon = \frac{100}{\bar{m}_k} \int_0^{a_c - \varepsilon} m_k f(h_k) dh_k. \quad (8)$$

Количество повреждённых корнеплодов от низкого среза в процентах рассчитываем по выражению:

$$n_n = 100 \int_{h_\delta}^{2,35\bar{h}_k} f(h_k) dh_k, \quad (9)$$

где $h_\delta = a_c + \Delta_\delta$, где Δ_δ – расстояние от верхушки головки корнеплода до основания нижних зелёных черешков, определяемое по формуле:

$$\Delta_\delta = D(1 - \sqrt{1 - d_\delta / D})^2 / k_\phi. \quad (10)$$

В расчётах отношение $C = d_\delta / D$ можно принять постоянным. Признак D связан с $h_k = h_\delta$ регрессионной зависимостью [2, 7, 8].

Выражение расчёта процента повреждённых корнеплодов по массе примет вид:

$$\lambda_n = \frac{100}{\bar{m}_k} \int_{h_\delta}^{2,35\bar{h}_k} (m_k - m_c) f(h_k) dh_k. \quad (11)$$

Процент

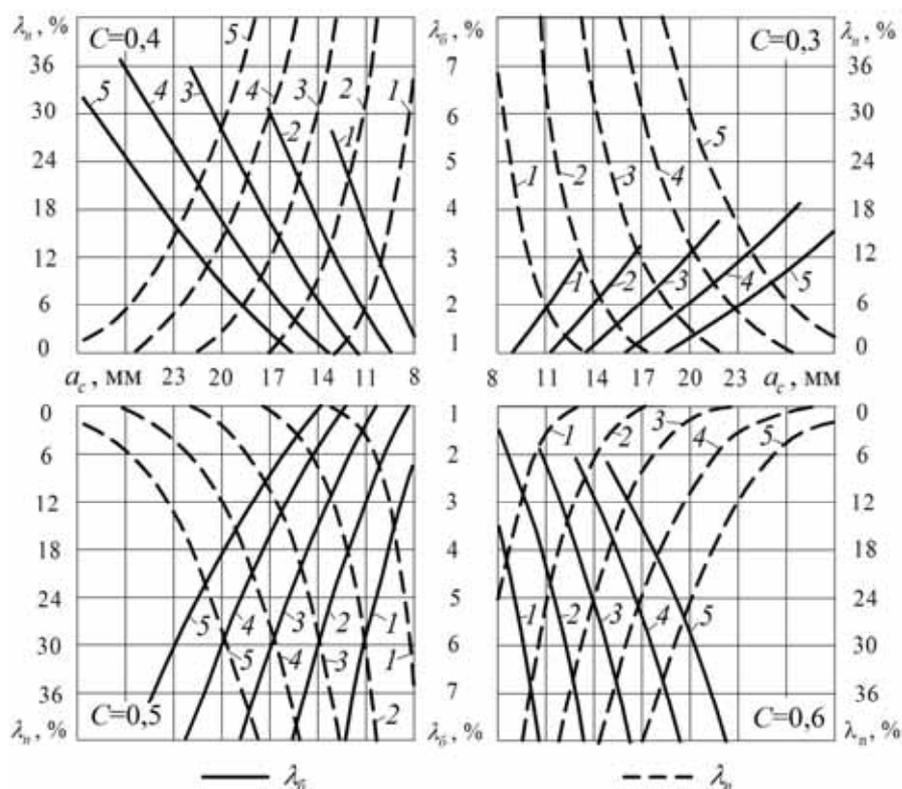


Рис. 3 – Процент λ_b оставшейся на корнеплодах ботвы и процент λ_p повреждённых корнеплодов кормовой свёклы сорта Победитель в зависимости от высоты a_c среза ботвы при средней высоте \bar{h}_k расположения головок корнеплодов над поверхностью почвы, равной: 1–6 см; 2–8 см; 3–10 см; 4–12 см; 5–14 см

$$n_c = 100 \int_{a_c}^{2,35\bar{h}_k} f(h_k) dh_k,$$

соответствует обрезанным корнеплодам после прохода ботвореза, который удобен для визуального контроля установленной высоты a_c среза.

Одним из основных показателей качества работы ботвоудаляющего устройства является общее количество оставшейся на корнеплодах ботвы, определяемое в процентном отношении к массе корнеплодов. При верхнем срезе этот показатель будет равен:

$$\lambda_b = \frac{100}{m_k} \int_0^{a_c} m_{пб} f(h_k) dh_k, \quad (12)$$

где $m_{пб}$ – масса пучка ботвы, которая находится в регрессионной зависимости от длины $l_{пб} = (a_c - h_k)$ и диаметра $d_b = C \cdot D$.

Диаметр корнеплода D также связан регрессионной зависимостью с h_k [7, 8].

На качество обрезки ботвы влияют в основном три параметра: \bar{h}_k , C и a_c . Комплексное их влияние на показатели качества λ_p и λ_b прослеживается по зависимостям, представленным на рисунке 3. Их анализ позволяет сделать вывод, что приемлемое качество процесса удаления ботвы кормовой свёклы сорта Победитель достигается только при определённых условиях, когда C меньше 0,4 и \bar{h}_k меньше 8 см. Если C зависит главным образом от урожайности ботвы, которая в разные годы может

составлять 20–80% урожайности корнеплодов, то на второй параметр – среднюю высоту расположения головок корнеплодов над поверхностью почвы, как и среднюю массу корнеплодов, влияет густота насаждения, которая формируется при участии человека. Чем больше густота насаждения и выше равномерность расположения растений в рядке, тем корнеплоды меньше выступают и равномернее расположены над поверхностью почвы. Многочисленные наблюдения показали, что довольно высокая густота насаждения (100–120 тыс. шт/га) не приводит к снижению биологической урожайности корнеплодов [2, 9], зато обеспечивает агрофон, который может быть убран механизированным способом с хорошим качеством, удовлетворяющим агротехническим требованиям.

Также немаловажное значение в повышении качества уборки корнеплодов имеет правильная настройка выкапывающего рабочего органа. Последний в составе однорядного комбайна [2, 4–6] представляет собой сочетание лемешно-дискового копача с активным приёмно-выкапывающим устройством (ПВУ) в виде усечённого конуса или вальца со спиральной навивкой. Приёмный конус является общим звеном для копача и шнеково-вальцового очистителя и участвует как в процессе выкопки корнеплодов, так и их очистки [2, 10]. Аналогично валец со шнековой навивкой является элементом и выкапывающего рабочего органа, и конвейера-очистителя. Качество и надёжность ра-

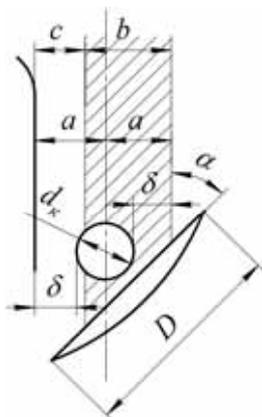


Рис. 4 – Схема для расчёта лемешно-дискового копача

боты такого комбинированного копача зависит от правильного выбора его конструктивных параметров и взаимного расположения сферического диска относительно ПВУ и лемеха. Так как лемех и наружная поверхность ПВУ располагаются в одной вертикальной плоскости, достаточно рассмотреть взаимное расположение диска и лемеха (рис. 4).

Конструктивными параметрами выкапывающего устройства являются диаметр D и переменный угол α атаки сферического диска. Из компоновочной схемы видно, что для обеспечения одной и той же ширины b захвата диском увеличение угла α приводит к уменьшению потребного диаметра D . Поэтому выгоднее всего установить максимально возможный угол α . Кроме того, с увеличением угла атаки сферического диска до 45° возрастает крошение почвы. Следовательно, оптимальным следует признать угол атаки 45° . Большое влияние на качество работы диска оказывает глубина h_2 подкапывания корнеплодов. С увеличением h_2 снижается усилие извлечения корнеплода, и в меньшей степени он травмируется, но возрастает поступление с ворохом свободной почвы и тяговое сопротивление. Для сахарной свёклы нормальной глубиной подкапывания можно считать 8–12 см. Для кормовой и столовой свёклы глубина хода может не превышать 6 см. Общая ширина захвата выкапывающим рабочим органом равна

$$2a = d_{k\max} + 2\delta, \quad (13)$$

где a — ширина захвата лемехом и диском с одной стороны от осевой линии ряда;

$d_{k\max}$ — диаметр корнеплода максимального размера;

δ — компенсирующая величина, учитывающая возможные отклонения корнеплода от осевой линии ряда и неточность вождения уборочного агрегата по рядам.

Так как ширина захвата диском равна:

$$b = 2 \sin \alpha \sqrt{h_2 (D - h_2)} = 2a - c,$$

с учётом (13) диаметр сферического диска будет равен:

$$D = h_2 + [(d_{k\max} + 2\delta - c) / (2 \sin \alpha)]^2 / h_2. \quad (14)$$

Минимальное поступление почвы с ворохом корнеплодов и предотвращение их повреждений лемехом копача обеспечивается при $c = \delta$, тогда

$$D = h_2 + [(d_{k\max} + \delta) / (2 \sin \alpha)]^2 / h_2. \quad (15)$$

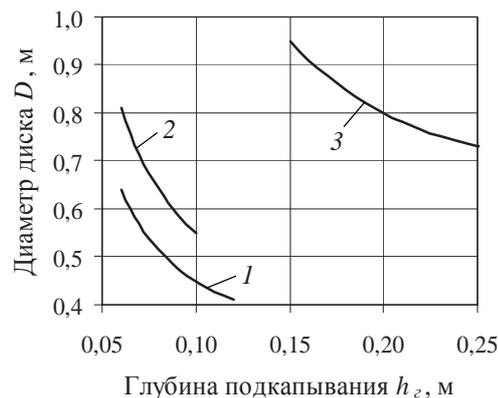


Рис. 5 – Влияние глубины h_2 подкапывания на потребный диаметр D сферического диска копача: 1 – сахарная свёкла; 2 – кормовая свёкла; 3 – картофель

Для гнезда клубней картофеля в (14) следует положить в качестве $d_{k\max}$ максимальную ширину размещения клубней в гнезде, а в качестве c — среднюю толщину клубня.

Расчёты по формулам (13) и (15) с учётом агрофизических характеристик сахарной, кормовой свёклы и картофеля позволили установить связь между потребным диаметром сферического диска и глубиной подкапывания (рис. 5). Нетрудно заметить, что для различных культур желательно использовать разные диски: для сахарной свёклы — с диаметром 450–560 мм, для кормовой свёклы — 560–710 мм, а для картофеля — 760–900 мм. Угол атаки принимается для кормовой свёклы и картофеля 45° , для сахарной свёклы — 40° .

Вывод. Установленные зависимости позволяют определиться в значении настраиваемой высоты среза ботвы на корню, а также диаметра диска выкапывающего рабочего органа с учётом особенностей убираемых культур и их расположения в почве и над почвой.

Литература

1. Мартынов В.М. Экономическая целесообразность универсальной техники для уборки корнеплодов с многофункциональными рабочими органами / В.М. Мартынов, Г.П. Юхин, А.А. Катков, А.М. Калимуллин // Известия Международной академии аграрного образования. 2013. № 17. С. 75–78.
2. Мартынов В.М. Проектирование рабочих органов и машин для уборки корнеплодов. Уфа: Изд-во Башкирского ГАУ, 2011. 250 с.
3. Патент 2338364. Российская Федерация. Ботвоудаляющее устройство / В.М. Мартынов, Г.П. Юхин, А.М. Калимуллин, А.А. Катков; заявитель и патентообладатель Башкирский ГАУ. № 2007109381/12; заявл. 14.03.07; опубл. 20.11.2008. Бюл. № 32. 6 с.
4. Патент 2338365. Российская Федерация. Корнеклубнеуборочный комбайн / В.М. Мартынов, Г.П. Юхин, А.М. Калимуллин, А.А. Катков; заявитель и патентообладатель Башкирский ГАУ. № 2007109382/12; заявл. 14.03.07; опубл. 20.11.08. Бюл. № 32. 7 с.
5. Мартынов В.М. Комбайн для уборки корнеклубнеплодов / В.М. Мартынов, Г.П. Юхин, А.А. Катков, А.М. Калимуллин // Сельский механизатор. 2006. № 10. С. 49.
6. Патент 2272394. Российская Федерация. Комбайн для уборки корнеклубнеплодов / В.М. Мартынов, Г.П. Юхин, А.М. Калимуллин, А.А. Катков; заявитель и патентообладатель Башкирский ГАУ. № 2004124393; заявл. 10.08.04; опубл. 27.03.06. Бюл. № 9. 6 с.
7. Шабельник Б.П., Мартынов В.М. Агрофизические показатели кормовой свёклы и характер их изменчивости //

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Совершенствование технологических процессов и рабочих органов сельскохозяйственных машин: сб. науч. трудов. М.: МИИСП, 1986. С. 68–75.
8. Юхин Г.П. Агрофизические характеристики кормовой свёклы в связи с её механизированной уборкой / Г.П. Юхин, В.М. Мартынов, А.А. Катков, А.М. Калимуллин // Сборник трудов факультета механизации сельского хозяйства (посвящается полувековому юбилею факультета) / под ред. А.П. Иофинова. Уфа: Башкирский ГАУ, 2001. С. 103–108.
 9. Юхин И.П., Пожидаев Е.В., Осипов В.Н. Способ основной обработки почвы и продуктивность сахарной свёклы в Башкортостане // Земледелие. 2009. № 3. С. 28–30.
 10. Юхин Г.П., Мартынов В.М., Катков А.А. Обоснование параметров винтового конвейера-очистителя корнеклубнеплодов // Сборник трудов факультета механизации сельского хозяйства (посвящается полувековому юбилею факультета) / Под ред. А.П. Иофинова. Уфа: Башкирский ГАУ, 2001. С. 112–118.