

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА ПРИ ОТДЕЛЕНИИ ОТВОДКОВ
ВЕГЕТАТИВНО РАЗМНОЖАЕМЫХ ПОДВОЕВ

Предложены аналитические зависимости, позволяющие определить условия эффективного и качественного механизированного отделения отводков вегетативно размножаемых подвоев.

Ключевые слова: маточники подвоев, механизация отделения отводков, ротационный дисковый нож, оптимизация.

V.G. Brosalin, A.A. Zavrazhnov, A.I. Zavrazhnov,
V.Yu. Lantzev, N.V. Tsuglenok

THEORETICAL ANALYSIS OF THE WORKING BODY INTERACTION IN THE SEPARATION
OF LAYERS OF THE VEGETATIVELY PROPAGATED ROOTSTOCKS

The analytical dependences, allowing to determine the conditions of the effective and qualitative mechanized separation of layers of the vegetatively propagated rootstocks are offered.

Key words: queen cells of rootstocks, mechanization of layer separation, rotary disc cutter, optimization.

Введение. Ориентированная укладка срезанных вращающимся дисковым ножом побегов вегетативно размножаемых подвоев, исключая их повреждение элементами ножа, является важной составляющей в обеспечении качества механизированного отделения отводков [1].

В момент окончания среза побег нижним комлевым торцом опирается на равномерно вращающийся с частотой ω в горизонтальной плоскости диск ножа и увлекается им во вращательное движение. В последующем, под действием центробежных сил, побег перемещается к краю диска и сбрасывается в междурядье маточника.

Цель исследований. Проанализировать движение единичного побега после его отделения от маточного растения и определить направление падения срезанного стебля для обоснования параметров и кинематических режимов рабочих органов механизированного отделения отводков вегетативно размножаемых подвоев, обеспечивающих качественное выполнение технологического процесса.

В общем случае на побег после его среза действует следующая пространственная система сил (рис. 1): тяжести $G_n=mg$; сцепления $F=fN$; центробежная $P_n = m\omega_n^2 r$ и тангенциальная $P_t=ma_t$ силы инерции переносного движения и Кориолиса $P_k=m\omega_n \mathcal{G}_r$, где N – нормальная реакция на побег со стороны опорной поверхности, Н; m – масса побега, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; ω_n – угловая скорость побега в рассматриваемый момент времени, с⁻¹; \mathcal{G}_r – скорость относительного движения побега по диску, м/с; a_t – тангенциальное ускорение побега, м/с².

В первый момент начала движения побега на него будут действовать две силы, обусловленные сцеплением между торцом побега и диском: сила F_x в касательном направлении, направленная в сторону вращения диска, и сила F_y , направленная к центру диска. Эти силы приведут побег в движение относительно неподвижной системы координат, центр которой совпадает с центром диска.

В это время ось Az побега занимает вертикальное положение, все точки побега, в том числе и его центр масс (т. С), имеют одинаковые ускорения, равные ускорениям точки А, и обладают касательной и нормальной силами инерции. Приведенные к двум составляющим главного вектора сил инерции P_t и P_n , приложенным в его центре масс, они создают вращающие моменты, которые опрокидывают побег во внешнюю сторону диска

$$M_x=P_n l_c; \quad M_y=P_t l_c, \quad (1)$$

где M_x и M_y – вращающие моменты сил инерции P_n и P_t относительно осей x и y соответственно, Н·м; l_c – расстояние от осей поворота до центра тяжести побега, м.

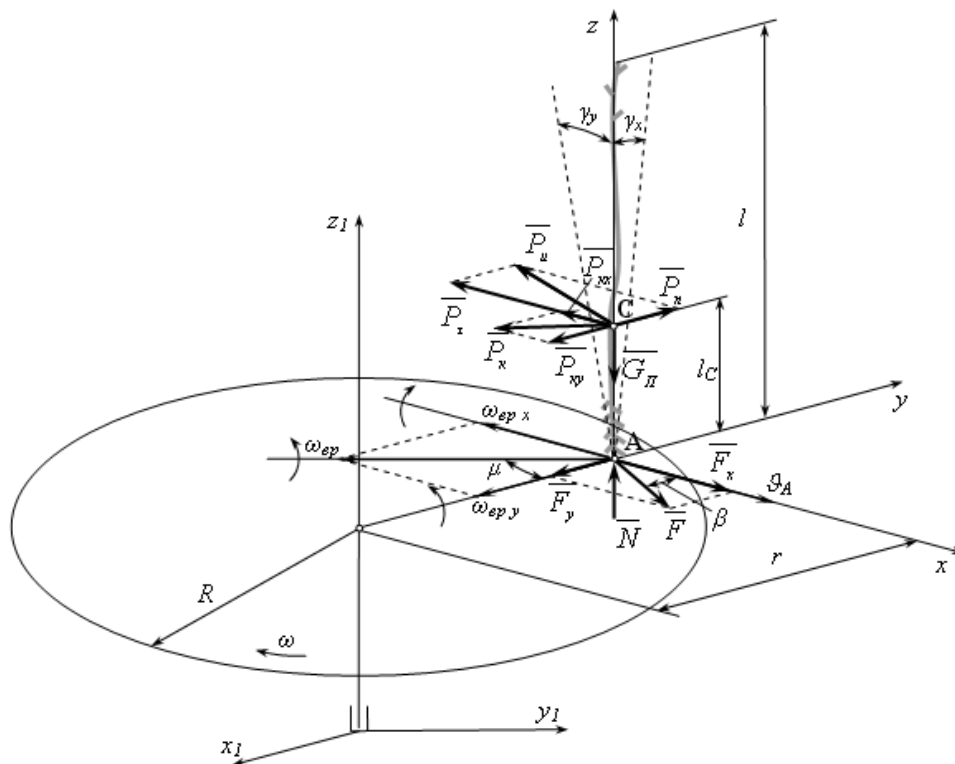


Рис. 1. Схема взаимодействия срезанного побега с диском ножа

Направление падения срезанного побега зависит от его положения на диске и соотношения действующих на побег сил. Для определения последних применим принцип Даламбера, в соответствии с которым составим уравновешенную систему сил в векторной форме

$$\overline{G_{II}} + \overline{N} + \overline{F_x} + \overline{F_y} + \overline{P_t} + \overline{P_n} + \overline{P_{kx}} + \overline{P_{ky}} = 0, \quad (2)$$

где G_{II} – сила тяжести побега, Н; N – нормальная реакция диска ножа на побег, Н; F_x и F_y – проекции силы сцепления соответственно на оси x и y , Н; P_t и P_n – тангенциальная и центробежная силы инерции переносного движения, Н; P_{kx} и P_{ky} – проекции силы Кориолиса соответственно на оси x и y , Н.

В связи с тем, что разница между радиусом r_0 исходного положения точки A побега на диске и радиусом диска R пренебрежимо мала, а траектория относительного движения комля по диску близка к окружности, считаем, что комлевая точка побега движется по окружности радиуса r с тангенциальным ускорением $a_t = \text{const}$, и кориолисову силу в расчет не принимаем.

С учетом принятых допущений векторное уравнение (2) в проекциях на координатные оси x, y, z подвижной системы с началом в точке A выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} P_t - F_x = 0; \\ P_n - F_y = 0; \\ N - G_{II} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Исходя из последнего равенства системы (3), имеем $N = G_{II} = mg$, откуда

$$F = fmg. \quad (4)$$

Проекции силы сцепления F на осях x и y подвижной системы координат соответственно составят

$$F_x = fmg \cdot \cos \beta; \quad F_y = fmg \cdot \sin \beta, \quad (5)$$

где β – угол между осью x и направлением силы F .

Из второго уравнения системы (3) получим $P_n = F_y$ или $m\omega_n^2 r = fmg \sin \beta$. В начальный момент времени ($t=0$) $\omega_n=0$, то есть $m\omega_n^2 r = 0$. При этих условиях $fmg \sin \beta = 0$ только в том случае, если $\sin \beta = 0$, то есть $\beta=0^\circ$. В то же время из первого уравнения системы (3) видно, что $P_r = F_x$ или $ma_r = fmg \cdot \cos \beta$. Так как $\beta=0^\circ$, то $\cos \beta=1$ и следовательно

$$a_r = fg. \quad (6)$$

Величина угловой скорости точки A побега в переносном движении определяется выражением

$$\omega_n = \omega_{n0} + \varepsilon t, \quad (7)$$

где ω_{n0} – начальная угловая скорость побега, рад; t – время отсчета, с; ε – угловое ускорение, c^{-1}

$$\varepsilon = \frac{a_r}{r}. \quad (8)$$

Известно, что в относительном движении по диску ножа основание побега (точка A) перемещается по траектории в виде логарифмической спирали [2], уравнение которой [3]

$$R = re^{a\theta}, \quad (9)$$

где r и θ – текущие полярные координаты; $a = \operatorname{ctg} \alpha = \operatorname{const}$; α – угол между касательной к спирали и радиусом r , близкий к прямому [2]; e – основание натурального логарифма.

Таким образом, с момента касания до момента схода побега с диска в относительном движении основание побега переместится по диску на угол

$$\theta = \frac{\ln(R/r_0)}{a}, \quad (10)$$

где R – радиус диска ножа, м; r_0 – радиус точки исходного касания торца побега после среза, м.

При равнопеременном движении путь, пройденный телом за время t , составляет

$$S = S_0 + \mathcal{V}_0 t + \frac{a_r t^2}{2}, \quad \text{где } S_0 \text{ – начальная точка отсчета, м; } \mathcal{V}_0 \text{ – начальная скорость, м/с. С учетом}$$

начальных условий ($S_0=0$, $\mathcal{V}_0=0$), принятых ранее допущений ($r_0 \approx R=r$) и равенства (6) получим: вначале

$$S = \theta r = (a_r t_{cx}^2) / 2, \quad \text{а затем}$$

$$t_{cx} = \sqrt{2\theta r / fg}, \quad (11)$$

где t_{cx} – время с момента касания побегом диска ножа до его схода, с.

За это же время диск перенесет побег в направлении своего вращения на угол

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \varepsilon t^2 / 2, \quad \text{где } \varphi_0 \text{ – начальная точка отсчета, рад; } \omega_0 \text{ – начальная угловая скорость, } c^{-1};$$

ε – угловое ускорение, c^{-2} ($\varepsilon = a_r / r = fg / r$). С учетом начальных условий ($\varphi_0=0$, $\omega_0=0$) и равенства (8) имеем

$$\varphi = \theta = \frac{\ln(R/r_0)}{a}, \quad (12)$$

где φ – угол схода побега с диска, рад.

При этом линейная скорость схода $\mathcal{G}_{cx} = a_{\tau} t_{cx} = \sqrt{2fg\theta r}$, а угловая составляет

$$\omega_{cx} = \sqrt{2fg\theta/r}. \quad (13)$$

Дифференциальные уравнения вращения срезанного побега относительно осей x и y имеют вид

$$J_x \frac{d\omega_{epx}}{dt} = \sum M_x(\bar{P}_i); \quad J_y \frac{d\omega_{epy}}{dt} = \sum M_y(\bar{P}_i), \quad (14)$$

где J_x и J_y – моменты инерции ствола относительно осей x и y , Н·м²; ω_{epx} и ω_{epy} – угловые скорости вращения побега относительно осей x и y соответственно, с⁻¹; $\sum M_x(\bar{P}_i)$ и $\sum M_y(\bar{P}_i)$ – алгебраические суммы моментов всех действующих на побег сил относительно осей x и y , Н·м.

Ориентируясь на данные таблицы и рисунка 2, полученные на основе измерений, проведенных в 2010 году научным сотрудником ВНИИС им. И.В. Мичурина, кандидатом сельскохозяйственных наук Е.А. Каплиным, считаем

$$J_x = J_y = \frac{3ml_c^2}{2}, \quad (15)$$

где $l_c=l/3$ – расстояние от осей поворота до центра тяжести побега, м; l – длина побега, м; m – масса побега, кг.

Параметры отводков клоновых подвоев 62-396 и 54-118

Параметр	Вариационные показатели				
	M , см	σ , см	m , см	P , %	V , %
Подвой 62-396					
Высота побега l	61,49	17,72	1,87	3,04	28,82
Высота центра тяжести l_c	16,88	5,39	0,57	3,37	31,94
Отношение l_c/l	0,276	0,04	0,005	1,73	16,2
Подвой 54-118					
Высота побега l	80,64	27,66	2,92	3,62	34,29
Высота центра тяжести l_c	27,17	8,08	0,85	3,13	29,73
Отношение l_c/l	0,345	0,047	0,005	1,43	13,6

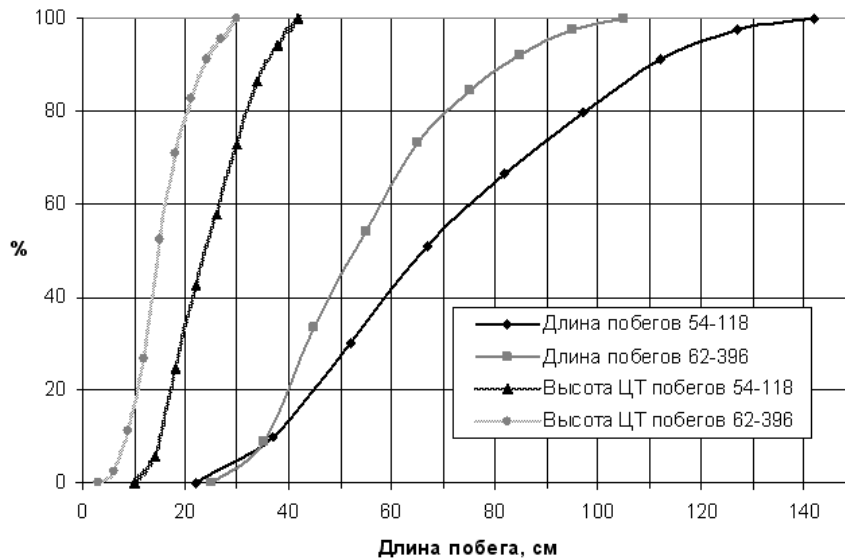


Рис. 2. Интегральные кривые распределения длины побегов и расстояния до центра тяжести

Принимая во внимание (15) и обозначения рисунка 1, имеем:
относительно оси x

$$\frac{3ml_c^2}{2} \frac{d\omega_{epx}}{dt} = P_n l_c \cos \gamma_x + Gl_c \sin \gamma_x; \quad (16)$$

относительно оси y

$$\frac{3ml_c^2}{2} \frac{d\omega_{ep y}}{dt} = P_n l_c \cos \gamma_y + Gl_c \sin \gamma_y. \quad (17)$$

Так как $G_{II}=mg$, $P_n = m\omega_{II}^2 r$ и $P_T = mfg$, после замены в (16) и (17) и некоторых преобразований получим:

$$\frac{d\omega_{epx}}{dt} = \frac{2}{3l_c} (\omega_{II}^2 r \cos \gamma_x + g \sin \gamma_x), \quad (18)$$

$$\frac{d\omega_{ep y}}{dt} = \frac{2}{3l_c} g (f \cos \gamma_y + \sin \gamma_y). \quad (19)$$

Перед интегрированием (18) и (19) умножим почленно их левые и правые части на $d\gamma$ и, учитывая, что $d\gamma \cdot d\omega_{ep}/dt = \omega_{ep} \cdot d\omega_{ep}$, получим:

$$\int_0^{\omega_{epx}} \omega_{epx} d\omega_{epx} = \frac{2}{3l_c} \int_0^{\gamma_x} (\omega_{II}^2 r \cos \gamma_x + g \sin \gamma_x) d\gamma_x, \quad (20)$$

$$\int_0^{\omega_{ep y}} \omega_{ep y} d\omega_{ep y} = \frac{2g}{3l_c} \int_0^{\gamma_y} (f \cos \gamma_y + \sin \gamma_y) d\gamma_y. \quad (21)$$

Интегрирование (20) и (21) с учетом того, что $l=3l_c$ (или $l_c = \frac{1}{3}l$), приводит к следующим уравнениям:

$$\omega_{\text{вр } x} = \sqrt{\frac{4}{l} [\omega_{\text{п}}^2 r \sin \gamma_x + g(1 - \cos \gamma_x)]}, \quad (22)$$

$$\omega_{\text{вр } y} = \sqrt{\frac{4g}{l} [f \sin \gamma_y + (1 - \cos \gamma_y)]}. \quad (23)$$

Геометрическое сложение векторов $\overline{\omega_{\text{вр } x}}$ и $\overline{\omega_{\text{вр } y}}$ дает вектор $\overline{\omega_{\text{вр}}}$ абсолютной угловой скорости вращения побега относительно его мгновенной оси вращения

$$\overline{\omega_{\text{вр}}} = \overline{\omega_{\text{вр } x}} + \overline{\omega_{\text{вр } y}}. \quad (24)$$

При этом плоскость вращения побега расположена перпендикулярно его мгновенной оси вращения и отклонена от оси x на угол

$$\mu = \text{arctg} \frac{\omega_{\text{вр } x}}{\omega_{\text{вр } y}}, \quad (25)$$

где μ – угол плоскости падения побега в относительном движении, рад.

Фактически, с учетом угла схода φ побега с диска, вычисленного по уравнению (12) (рис. 3), сектор падения срезанного побега смещен в сторону вращения дискового ножа.

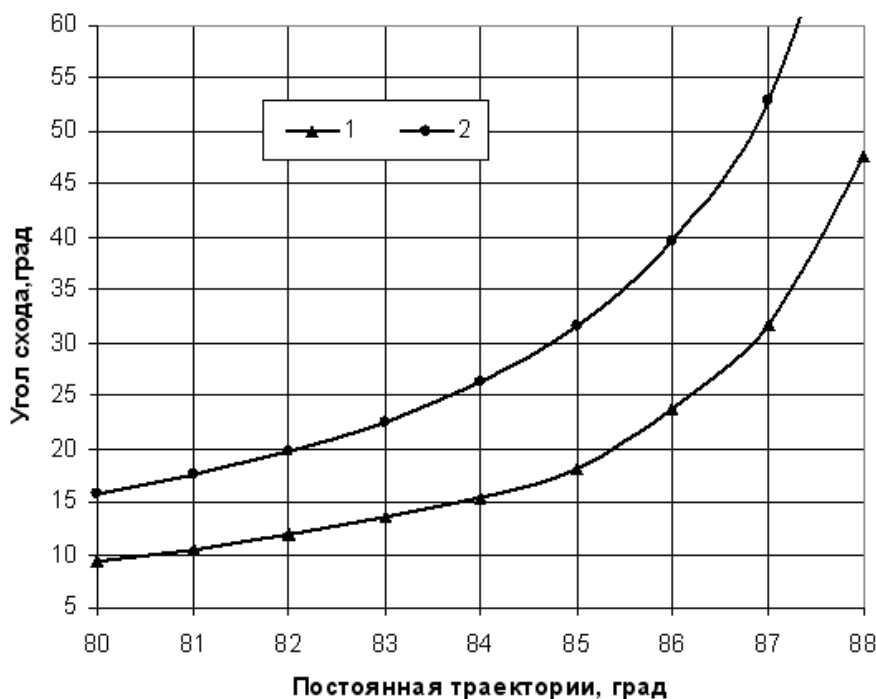


Рис. 3. Расчетный угол схода побегов с диска ножа при R/r_0 , равном: 1 – 1,05; 2 – 1,03

Выводы. Таким образом, теоретический анализ взаимодействия срезанного побега с дисковым ножом показывает, что единичный побег неизбежно упадет в направлении движения машины. Только побеги, срезанные одной наружной боковой кромкой ножа, расположенной по касательной к линии ряда единичных побегов с линейной скоростью режущей кромки, направленной против хода машины, могут избежать повторных воздействий ножа и травмирования. В иных случаях необходимы дополнительные устройства, обеспечивающие отвод побегов после их отделения от маточного растения.

Литература

1. *Соловьев Д.А., Загоруйко М.Г.* Механика падения ствола, срезанного дисковым рабочим органом ку-стореза, не оборудованного толкателем // Вестник Саратов. ГАУ. – 2010. – № 9. – С. 20–22.
2. *Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет / Б.Г. Турбина, А.Б. Лурье, С.М. Григорьев [и др.]; под ред. Б.Г. Турбина.* – Л.: Машиностроение, 1957. – 584 с.
3. *Бухгольц Н.Н.* Основной курс теоретической механики. – М.: Наука, 1972. – Ч.1. – 468 с.

