

**МЕХАΝІЗАЦЫЯ І ЭНЕРГЕТЫКА**

УДК 631.356.2

*В. М. БУЛГАКОВ, И. В. ГОЛОВАЧ*

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ДВИЖЕНИЯ  
 ОЧИСТИТЕЛЬНОЙ ЛОПАСТИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ГОЛОВКОЙ КОРНЕПЛОДА**

*Національний аграрний університет, г. Киев (Украина)*

*(Поступила в редакцию 26.05.2005)*

В работе [1] предложена теория взаимодействия гибкой очистительной лопасти с поверхностью головки корнеплода на корню в случае, когда плоскость вращения очистителя расположена строго вдоль ряда корнеплодов.

Рассмотрим теперь случай, когда плоскость вращения бича вокруг оси  $Ox$  расположена под некоторым углом  $\beta$  к ряду корнеплодов, т. е. в этом случае очистительная лопасть фактически движется в пространстве. В этом случае вектор скорости поступательного движения очистителя  $\vec{V}_n$  будет составлять угол  $\beta$  с плоскостью вращения бича. Изобразим на рис. 1 вектор скорости  $\vec{V}_M$  точки  $M$  на биче и вектор скорости поступательного движения очистителя  $\vec{V}_n$  и проекции этой скорости на оси координат перед началом удара в точке контакта  $K_1$ , а также векторы скоростей  $\vec{U}_1$ ,  $\vec{U}_2$  и  $\vec{U}$  после удара. Изобразим также на рис. 1 пространственную натуральную систему координат  $\tau K_1 \bar{n} \bar{b}$ , где бинормаль  $\bar{b}$  направлена противоположно направлению оси  $Ox$ .

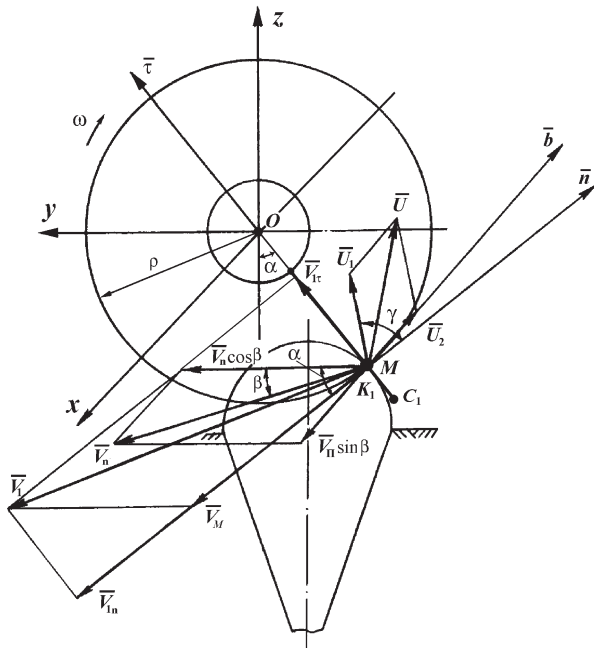


Рис. 1. Схема скоростей при ударном контакте бича с головкой корнеплода до удара и после удара в случае, когда плоскость вращения бича расположена под углом к ряду корнеплодов

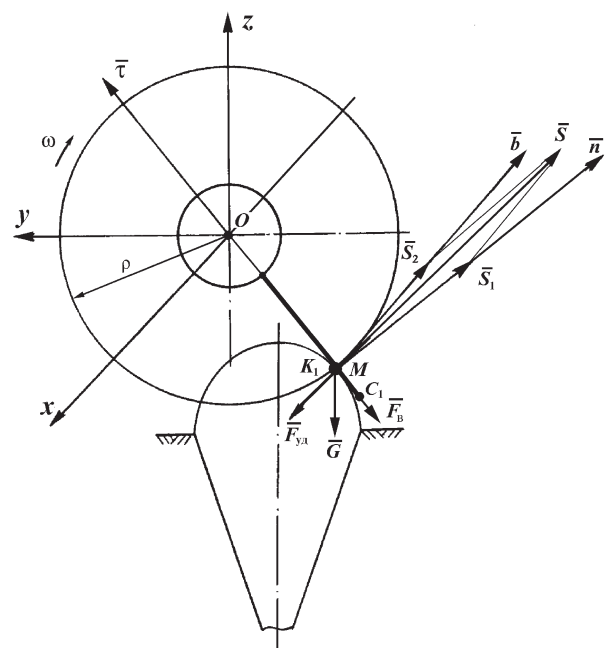


Рис. 2. Схема сил, которые действуют в точке контакта бича с головкой корнеплода в случае, когда плоскость вращения бича расположена под углом к ряду корнеплодов

Разложим вектор  $\vec{V}_n$  по осям координат  $Ox$  и  $Oy$ . Тогда под действием скорости

$$\vec{V}_1 = \vec{V}_n \cos \beta + \vec{V}_M$$

бич осуществляет удар по головке корнеплода в вертикальной плоскости  $yOz$ , а под действием скорости  $V_n \sin \beta$  – в горизонтальной плоскости  $xOy$ , точнее вдоль оси  $Ox$ .

Изобразим схему сил, которые действуют на головку корнеплода во время пространственного удара в точке контакта  $K_1$  (рис. 2).

Удар в плоскости  $yOz$  сводится к рассмотренному в [1] случаю, поэтому все полученные аналитические выражения для определения необходимых величин можно использовать, но при этом  $V_n$  необходимо заменять  $V_n \cos \beta$ .

Угол  $\gamma$  отклонения вектора скорости  $\vec{U}_1$  после удара от нормали  $\bar{n}$  в плоскости  $yOz$  получаем из выражений (11) и (12) [1]:

$$\operatorname{ctg} \gamma = \frac{(V_n \cos \beta \cos \alpha + \omega r) \varepsilon}{V_n \cos \beta \sin \alpha}, \quad (1)$$

тогда

$$\gamma = \operatorname{arccctg} \left[ \frac{(V_n \cos \beta \cos \alpha + \omega r) \varepsilon}{V_n \cos \beta \sin \alpha} \right]. \quad (2)$$

Модуль скорости  $U_1$  после удара в плоскости  $yOz$  получим из выражения (15) [1]:

$$U_1 = \sqrt{V_n^2 \cos^2 \beta \sin^2 \alpha + (V_n \cos \beta \cos \alpha + \omega r)^2 \varepsilon^2}, \quad (3)$$

а ударный импульс  $\bar{S}_1$  вдоль нормали  $\bar{n}$  получаем из выражения (17) [1]:

$$S_1 = m(1 + \varepsilon)(V_n \cos \beta \cos \alpha + \omega r). \quad (4)$$

Для определения необходимых величин при ударе вдоль оси  $Ox$  (или то же самое, что вдоль бинормали  $\bar{b}$ ) спроектируем уравнение (3) из [1] на бинормаль  $\bar{b}$ , получаем

$$m(U_b - V_b) = S\bar{b}, \quad (5)$$

или, как видно из рис. 1,

$$m(U_2 + V_n \sin \beta) = S_2, \quad (6)$$

где  $S_2$  – ударный импульс от скорости  $V_n \sin \beta$  вдоль оси  $\bar{b}$ .

Поскольку  $U_2$  – скорость бича после удара вдоль бинормали  $\bar{b}$ , а  $V_n \sin \beta$  – скорость бича до удара вдоль бинормали  $\bar{b}$ , то, учитывая коэффициент восстановления  $\varepsilon$ , можно записать

$$U_2 = -\varepsilon V_b = \varepsilon V_n \sin \beta. \quad (7)$$

Если подставить (7) в (6), то получаем значения ударного импульса вдоль оси  $\bar{b}$ :

$$S_2 = m(1 + \varepsilon)V_n \sin \beta. \quad (8)$$

Полная скорость  $U$  после удара для данного случая будет равна

$$U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2},$$

или

$$U = \sqrt{V_n^2 \cos^2 \beta \sin^2 \alpha + (V_n \cos \beta \cos \alpha + \omega r)^2 \varepsilon^2 + V_n^2 \varepsilon^2 \sin^2 \beta}. \quad (9)$$

Полный ударный импульс будет равен

$$S = \sqrt{S_1^2 + S_2^2},$$

или

$$S = m(1 + \varepsilon) \sqrt{(V_n \cos \beta \cos \alpha + \omega r)^2 + V_n^2 \sin^2 \beta}. \quad (10)$$

Следующим этапом исследования является составление дифференциальных уравнений движения точки контакта бича и головки корнеплода после удара.

Изобразим, как и в [1], схему силового взаимодействия бича с головкой корнеплода при движении бича вдоль головки корнеплода. Очевидно, что в точке контакта  $K$  будут действовать те

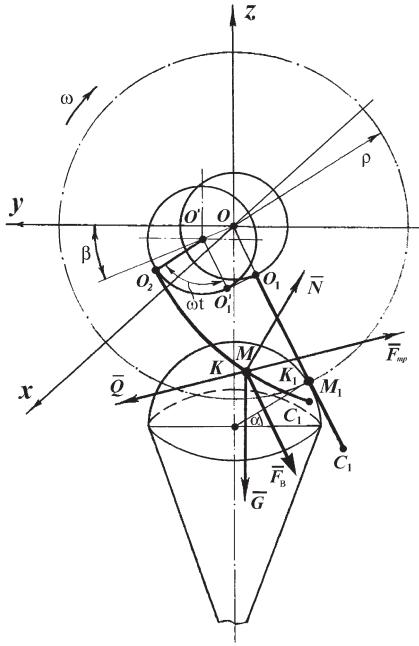


Рис. 3. Схема силового взаимодействия бича с головкой корнеплода в процессе счесывания остатков ботвы в случае, когда плоскость вращения бича расположена под углом к ряду корнеплодов

счесывания  $\bar{Q}$ , то на рис. 3 они не изображены.

Итак, согласно схеме силового взаимодействия, которая изображена на рис. 3, дифференциальное уравнение движения точки контакта  $K$  вдоль головки корнеплода в векторной форме будет иметь вид

$$m\bar{a} = \bar{F}_B + \bar{G} + \bar{N} + \bar{F}_{\text{тр}} + \bar{Q}, \quad (11)$$

где  $\bar{a}$  — абсолютное ускорение движения точки контакта  $K$  по головке корнеплода;  $m$  — масса бича.

Поскольку в данном случае имеем пространственную систему координат, то дифференциальное уравнение (11) сводится к системе трех дифференциальных уравнений второго порядка следующего вида:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= N_x + F_{\text{тр}x} + Q_x, \\ m\ddot{y} &= F_{\text{в}y} + N_y + F_{\text{тр}y} + Q_y, \\ m\ddot{z} &= F_{\text{в}z} + G + N_z + F_{\text{тр}z} + Q_z, \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где в правых частях системы уравнений (12) записаны проекции соответствующих сил на оси  $Ox$ ,  $Oy$  и  $Oz$ .

Учитывая значения проекций векторов сил, которые входят в систему дифференциальных уравнений (12), и выражения (29) и (30) из [1], данная система дифференциальных уравнений приобретает следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= N \cos(x, \bar{N}) - fN \cos(\dot{x}, \bar{V}) + Q \cos(\dot{x}, \bar{V}), \\ m\ddot{y} &= -m\omega^2 \rho \sin \alpha + N \cos(y, \bar{N}) - fN \cos(\dot{y}, \bar{V}) + Q \cos(\dot{y}, \bar{V}), \\ m\ddot{z} &= -m\omega^2 \rho \cos \alpha - mg + N \cos(z, \bar{N}) - fN \cos(\dot{z}, \bar{V}) + Q \cos(\dot{z}, \bar{V}), \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

где  $\cos(x, \bar{N})$ ,  $\cos(y, \bar{N})$ ,  $\cos(z, \bar{N})$  — направляющие косинусы вектора силы  $\bar{N}$ ;  $\cos(\dot{x}, \bar{V})$ ,  $\cos(\dot{y}, \bar{V})$ ,  $\cos(\dot{z}, \bar{V})$  — направляющие косинусы вектора скорости  $\bar{V}$  движения точки

контакта  $K$  по головке корнеплода;  $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$  – проекции вектора скорости  $\bar{V}$  на соответствующие оси координат.

Направляющие косинусы определим согласно выражений (34) [1], причем уравнением связи в этом случае является уравнение сферы (35) [1]. Тогда система дифференциальных уравнений (13) приобретает такой вид:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= \frac{N}{\Delta f} \frac{\partial f}{\partial x} - fN \frac{\dot{x}}{V} + Q \frac{\dot{x}}{V}, \\ m\ddot{y} &= -m\omega^2 \rho \sin \alpha + \frac{N}{\Delta f} \frac{\partial f}{\partial y} - fN \frac{\dot{y}}{V} + Q \frac{\dot{y}}{V}, \\ m\ddot{z} &= -m\omega^2 \rho \cos \alpha - mg + \frac{N}{\Delta f} \frac{\partial f}{\partial z} - fN \frac{\dot{z}}{V} + Q \frac{\dot{z}}{V}, \\ x^2 + y^2 + z^2 - R^2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Вычисляя частные производные  $\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}, \frac{\partial f}{\partial z}$ , градиент функции  $\Delta f$  и подставляя полученные выражения в систему уравнений (14), будем иметь

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= \frac{x}{R} N - fN \frac{\dot{x}}{V} + Q \frac{\dot{x}}{V}, \\ m\ddot{y} &= -m\omega^2 \rho \sin \alpha + \frac{y}{R} N - fN \frac{\dot{y}}{V} + Q \frac{\dot{y}}{V}, \\ m\ddot{z} &= -m\omega^2 \rho \cos \alpha - mg + \frac{z}{R} N - fN \frac{\dot{z}}{V} + Q \frac{\dot{z}}{V}, \\ x^2 + y^2 + z^2 - R^2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Применяя метод, предложенный в [2], сведем систему уравнений (15) к системе двух дифференциальных уравнений относительно неизвестных функций  $x(t), y(t)$ .

В результате получаем следующую систему дифференциальных уравнений, которая описывает движение точки  $K$  по головке корнеплода в случае, когда плоскость вращения бича расположена под углом  $\beta$  к ряду корнеплодов:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= \frac{1}{R} \left[ m\omega^2 \rho (y \sin \alpha + \sqrt{R^2 - x^2 - y^2} \cdot \cos \alpha) + mg \sqrt{R^2 - x^2 - y^2} - \right. \\ & \left. - m\dot{x}^2 - m\dot{y}^2 - \frac{m(x\dot{x} + y\dot{y})^2}{R^2 - x^2 - y^2} \right] \left[ \frac{x}{R} - \frac{f \dot{x} \sqrt{R^2 - x^2 - y^2}}{\sqrt{(R^2 - x^2 - y^2)(\dot{x}^2 + \dot{y}^2) + (x\dot{x} + y\dot{y})^2}} \right] + \\ & + \frac{Q \dot{x} \sqrt{R^2 - x^2 - y^2}}{\sqrt{(R^2 - x^2 - y^2)(\dot{x}^2 + \dot{y}^2) + (x\dot{x} + y\dot{y})^2}}, \\ m\ddot{y} &= -m\omega^2 \rho \sin \alpha + \frac{1}{R} \left[ m\omega^2 \rho (y \sin \alpha + \sqrt{R^2 - x^2 - y^2} \cdot \cos \alpha) + \right. \\ & \left. + mg \sqrt{R^2 - x^2 - y^2} - m\dot{x}^2 - m\dot{y}^2 - \frac{m(x\dot{x} + y\dot{y})^2}{R^2 - x^2 - y^2} \right] \times \\ & \times \left[ \frac{y}{R} - \frac{f \dot{y} \sqrt{R^2 - x^2 - y^2}}{\sqrt{(R^2 - x^2 - y^2)(\dot{x}^2 + \dot{y}^2) + (x\dot{x} + y\dot{y})^2}} \right] + \\ & + \frac{Q \dot{y} \sqrt{R^2 - x^2 - y^2}}{\sqrt{(R^2 - x^2 - y^2)(\dot{x}^2 + \dot{y}^2) + (x\dot{x} + y\dot{y})^2}}, \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

причем нормальная реакция  $N$  поверхности головки корнеплода находится из выражения

$$N = \frac{1}{R} [ m\omega^2\rho(y \sin \alpha + z \cos \alpha) + mgz - mV^2 ],$$

где

$$V^2 = \dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2 = \dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \frac{(x\dot{x} + y\dot{y})^2}{R^2 - x^2 - y^2}.$$

Система уравнений (16) является системой нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка относительно неизвестных функций  $x(t)$  и  $y(t)$ . Полученную систему дифференциальных уравнений можно решить лишь численными методами на ПЭВМ при заданных начальных условиях. При этом, как и в предыдущем случае, неизвестную силу  $Q$  счесывания остатков ботвы с головки корнеплода нужно находить из условий осуществления счесывания остатков ботвы с головки корнеплода при необходимой деформации изгиба бича.

Определим начальные условия движения точки контакта  $K$  в данном случае. Начальной скоростью точки  $K_1$  контакта бича с головкой корнеплода будет абсолютная скорость  $\bar{U}$  точки  $M_1$  бича после удара. Итак  $\bar{V}_0 = \bar{U}$ , где  $U$  определяется согласно выражению (9).

Как видно из схемы рис. 1,

$$\begin{aligned} \dot{x}_0 &= -U_2, \\ \dot{y}_0 &= U_1 \sin \gamma \sin \alpha - U_1 \cos \gamma \cos \alpha, \end{aligned} \quad (17)$$

где  $U_1, U_2$  — определяются согласно выражений (3) и (7) соответственно; угол  $\gamma$  — согласно выражению (2).

Таким образом, начальные условия для системы дифференциальных уравнений (16) имеют такой вид:

при  $t = 0$

$$\begin{aligned} x_0 &= 0, \\ y_0 &= -R \cos \alpha, \\ \dot{x}_0 &= -U_2, \\ \dot{y}_0 &= U_1 \sin \gamma \sin \alpha - U_1 \cos \gamma \cos \alpha. \end{aligned} \quad (18)$$

Определим далее силу счесывания  $Q$  исходя из условий возможности осуществления технологического процесса отрыва черешков ботвы с головки корнеплода, учитывая физико-механические свойства именно ботвы сахарной свеклы.

Черешок ботвы сахарной свеклы в поперечном сечении в общем случае близок к треугольной форме (по данным исследований Института сахарной свеклы УААН [3]), которая имеет при основании впадину также треугольной формы. Общая форма поперечного сечения черешка близка к виду фигуры, которая изображена на рис. 4. Таким образом, указанные на рис. 4 размеры используем в дальнейшем для расчетов площади поперечного сечения черешков ботвы.

Будем также считать, что процесс счесывания происходит непосредственно на самой головке корнеплода в месте закрепления черешка за счет деформации сдвига черешка. В таком случае очевидно, что процесс счесывания будет возможным при выполнении следующего условия:

$$\frac{Q}{nF} \geq [\tau], \quad (19)$$

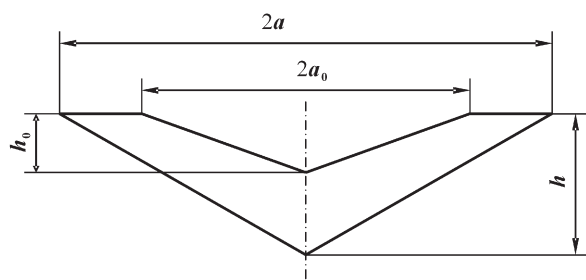


Рис. 4. Схема поперечного сечения черешка ботвы сахарной свеклы

где  $Q$  — сила счесывания;  $[\tau]$  — допустимое касательное напряжение сдвига для черешка;  $F$  — площадь поперечного сечения одного черешка;  $n$  — число черешков, которые одновременно счесываются.

Далее считаем, что одновременно счесываются черешки ботвы, которые расположены на головке корнеплода в один узкий ряд. Основанием для такого предположения является то, что счесывание остатков с головки корнеплода происходит сразу после срезания

центральной его части ботвосрезающим аппаратом. А потому черешки, которые расположены сверху и впереди ряда, который счесывается, считаются уже срезанными, а следовательно, не оказывают сопротивления при дальнейшем счесывании остатков ботвы лопастным очистителем.

Таким образом, сила счесывания  $\bar{Q}$ , которая определяется из условия (19), будет равна силе, возникающей со стороны деформированного бича, которая, в свою очередь, приблизительно будет равна силе  $\bar{Q}_k$ , создаваемой крутящим моментом  $M_k$ , передающимся на бич, т. е. крутящим моментом на приводном валу очистителя. Поэтому можно считать, что  $Q = Q_k$ .

Вычислим далее необходимую для счесывания черешков с головки корнеплода силу  $Q$ . Из условия (19) получим

$$Q \geq nF[\tau]. \quad (20)$$

Как видно из рис. 4, площадь  $F$  поперечного сечения черешка ботвы равна

$$F = ah - a_0h_0. \quad (21)$$

Учитывая выражения (20) и (21), находим силу счесывания  $Q$ . Она будет равна

$$Q \geq (ah - a_0h_0)n[\tau]. \quad (22)$$

С другой стороны, сила, которая возникает в точке контакта  $K$  бича с головкой корнеплода, как было указано выше, равна силе  $Q_k$ , которая создается крутящим моментом  $M_k$  на приводном валу бича. Очевидно, что по величине сила  $Q_k$  будет равна

$$Q_k = \frac{M_k}{\rho}. \quad (23)$$

Поскольку  $Q = Q_k$ , то из выражения (22) получаем

$$Q_k \geq (ah - a_0h_0)n[\tau], \quad (24)$$

или, учитывая (23),

$$\frac{M_k}{\rho} \geq (ah - a_0h_0)n[\tau]. \quad (25)$$

Окончательно из выражения (25) находим значение крутящего момента  $M_k$  на приводном валу бича

$$M_k \geq \rho(ah - a_0h_0)n[\tau]. \quad (26)$$

Таким образом, найдена величина необходимого крутящего момента на приводном валу бича из условий возможности осуществления технологического процесса счесывания черешков ботвы с головки корнеплода с учетом их физико-механических свойств.

Поскольку угловую скорость  $\omega$  вращения бича считаем заданной, то на основании (26) можно определить мощность на приводном валу ( $N_{п.в}$ ), необходимую для осуществления технологического процесса счесывания остатков ботвы с головки корнеплода. Она будет равна

$$N_{п.в} = M_k\omega \geq \rho(ah - a_0h_0)n[\tau]\omega, \quad (27)$$

где  $N_{п.в}$  – мощность на приводном валу бича;  $\omega$  – угловая скорость вращения бича.

Определим силу  $Q$ , необходимую для счесывания одного черешка ботвы, который, согласно [3], имеет такие линейные размеры:  $a = 5$  мм,  $a_0 = 2$  мм,  $h = 5$  мм,  $h_0 = 2$  мм. Среднее значение допустимого касательного напряжения  $[\tau]$  для материала черешка, также согласно [3], будет равно:  $[\tau] = 1,14 \cdot 10^6$  Па.

Подставляя значения приведенных величин в выражение (22), при  $n = 1$ , получаем

$$Q \geq (5 \cdot 5 - 2 \cdot 2) \cdot 10^{-6} \cdot 1,14 \cdot 10^{-6} = 23,9 \text{ (Н)}.$$

Учитывая, что черешки ботвы могут иметь в поперечном разрезе размеры больше средних, принимаем  $\bar{Q} = 25$  (Н).

Следует заметить, что, согласно [4], для осуществления удовлетворительного процесса счесывания остатков ботвы с поверхности головки корнеплода на корню, необходимые касательные усилия должны находиться в пределах 70–120 (Н/см<sup>2</sup>). Далее, учитывая, что площадь поперечного сечения черешка ботвы составляет в среднем  $F = 0,25$  см<sup>2</sup>, получаем, что для

счесывания одного черешка ботвы необходимое касательное усилие должно находиться в пределах 17,5–30,0 (Н). Итак, полученное в данной работе значение силы счесывания  $Q$  для одного черешка как раз и попадает в указанный интервал.

Для четырех черешков (т. е.  $n = 4$ ) из выражения (22) находим

$$Q \geq 95,6 \text{ (Н)}.$$

Для практических расчетов можем принять  $Q = 100$  (Н) и подставить его значение в систему дифференциальных уравнений (16).

Таким образом, найдены все условия для решения системы дифференциальных уравнений (16) численными методами с помощью ПЭВМ.

Решив систему дифференциальных уравнений (16), далее можно найти перемещения  $x(t)$  и  $y(t)$  точки контакта  $K$  бича по головке корнеплода. После этого имеется возможность, используя уравнение связи (35) [1], определить величину перемещения  $z(t)$ .

Далее, имея указанные перемещения, можно определить длину траектории движения точки контакта  $K$  по головке корнеплода. При этом длиной траектории движения будет длина дуги пространственной кривой, уравнение которой в параметрической форме будет иметь такой вид:

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t), \\ y &= y(t), \\ z &= z(t), \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

где  $x(t)$ ,  $y(t)$  и  $z(t)$  находятся из системы уравнений (16), как было показано выше.

Непосредственно длину дуги  $L$  пространственной кривой можно определить, согласно [5], с помощью такого выражения:

$$L = \int_0^{t_1} \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2} \cdot dt, \quad (29)$$

где  $t_1$  – время контакта бича с головкой корнеплода, которое можно определить, используя выражение (22) [1].

Это даст возможность в дальнейшем вычислить площадь счесывания  $F_{сч}$  за время контакта бича с головкой корнеплода. Действительно, если известна ширина  $b$  захвата бича (фактически, это может быть ширина самого бича) при его движении по головке корнеплода, то площадь счесывания одним бичом будет равна

$$F_{сч} = Lb. \quad (30)$$

Таким образом, имеем все основания для того, чтобы аналитически оценить эффективность работы очистителя данного типа.

Поскольку сила счесывания  $Q$  равна силе, которая возникает со стороны бича вследствие его деформации изгиба, необходимо вычислить величину прогиба бича, которая и обеспечивает создание данной силы счесывания  $Q$ . Для этого можем рассмотреть бич как консольную балку с закрепленным концом в точке подвеса. Согласно [6], можно составить дифференциальное уравнение изогнутой оси балки и после двукратного интегрирования указанного дифференциального уравнения получить следующий результат для определения прогиба в любой точке контакта бича с головкой корнеплода:

$$\delta = \frac{Q}{3EJ} (l - d)^3, \quad (31)$$

где  $\delta$  – прогиб бича;  $EJ$  – жесткость бича;  $l$  – длина бича;  $d = MC_1$  – расстояние от свободного конца бича до точки контакта  $M$  (рис. 3).

В частности, прогиб бича на свободном конце бича (точка  $C_1$  на рис. 3) при  $d = 0$  будет иметь такую величину:

$$\delta = \frac{Ql^3}{3EJ}. \quad (33)$$

Полученный прогиб бича, при его жесткости  $EJ$ , будет обеспечивать необходимую силу счесывания  $Q$ , которая определяется согласно выражению (22).

## Выводы

Полученные новые теоретические зависимости дают все основания к проведению расчетов основных параметров технологического процесса и очистителя головок корнеплодов на корню, который имеет горизонтальный приводной вал с шарнирно закрепленными гибкими очистительными лопастями (бичами). А численное моделирование на ПЭВМ данных аналитических зависимостей даст возможность также определять оптимальные значения конструктивных и кинематических параметров данного рабочего органа, который широко применяется в свеклоуборочной технике.

## Литература

1. Булгаков В.М., Головач И.В. Теория очистки головок корнеплодов на корню гибкой лопастью // Весті НАН Беларусі. Сер. аграр. навук. 2005. № 3. С. 96—106.
2. Василенко П.М. Введение в земледельческую механику. Киев, 1996.
3. Хелемендик Н.М. Направления и методы разработки рабочих органов сельскохозяйственных машин. Киев, 2001.
4. Свеклоуборочные машины (Конструирование и расчет) / Под общ. ред. Л.В. Погорелого. Киев, 1983.
5. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М., 1973.
6. Булгаков В.М., Головач И.В. Теория очистки головок корнеплодов очистителем с вертикальной осью вращения // Сб. научн. тр. Керченского морского технологического института «Механизация производственных процессов рыбного хозяйства, промышленных и аграрных предприятий». Вып. 4. Керчь, 2002. С. 209—226.

*V.M.BULGAKOV, I.V.HOLOVACH*

### DIFFERENTIAL EQUATION OF SPATIAL MOVEMENT OF THE CLEANING BLADE AT INTERACTION WITH A HEAD OF TUBER

## Summary

On a base of the obtained differential equations of motion of a cleaning blade which is installed on the drive shaft with a horizontal axis of rotation, the new mathematical associations have been presented. They justify basic parameters of the given technological process. The conformities allow to value optimal means of the constructive and cinematic parameters of the cleaning blade.