

А.Н. Юрин*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь*

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВАЛКОВАТЕЛЯ ВЕТОК ПЛОДОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ

В данной статье приведено обоснование параметров и режимов работы валкователя веток плодовых деревьев.

Ключевые слова: валкователь веток, измельчитель веток, рабочий орган, траектория движения, динамический коэффициент, жесткость щетки.

A.N. Yuryn*RUE "SPC NAS of Belarus on the mechanization of agriculture",
Minsk, Republic of Belarus*

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS AND MODES OF OPERATION OF A FELLING TROLLEY OF FRUIT TREES

This article provides a rationale for the parameters and operating modes of the rake of fruit tree branches.

Keywords: branch rake, branch grinder, working body, trajectory of movement, dynamic coefficient, brush stiffness.

Введение

Важным агротехническим приемом по уходу за многолетними насаждениями является обрезка деревьев. В зависимости от конструкции насаждения и его возраста объем срезаемых ветвей достигает 3-28 т/га [1, 2]. Такое количество отходов требует проведения технологических операций по их утилизации. Из 473 чел.-час трудовых затрат при возделывании 1 га яблоневого сада на обрезку кроны и утилизацию веток требуется трудовых затрат в количестве 386 чел.-час.

В настоящее время утилизация отходов обрезки в садах происходит вручную. Технологический процесс заключается в собирании сучьев рабочими с погрузкой в транспортное средство,двигающееся непосредственно по междурядью, и вывозу сучьев за пределы сада с последующим их сжиганием. Этот способ очень трудоемкий и малопродуктивный. Кроме того, при погрузке и разгрузке возможно травмирование людей.

Недостатком такой технологии также является нерациональное использование плодовой древесины – сжигание, которое приводит к загрязнению окружающей среды. Так, с каждой тонны сожженных веток в воздух выделяется 2–3 кг оксида углерода, 0,2 кг диоксида серы и других вредных веществ. Это оказывает токсичное действие на природную экосистему и здоровье человека. При этом, кроме загрязнения окружающей среды, происходит выжигание почвы. Из сельскохозяйственного оборота изымается до 2 % плодородной почвы [1, 3].

Наиболее перспективной в настоящее время является технология утилизации веток с валкованием и измельчением веток непосредственно в междурядье сада, с последующим мульчированием почвы щепой.

Для решения этой задачи в РУП «НПЦ НАН ,Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан комплекс уборки веток плодовых деревьев КУВ 1,8, состоящий из валкователя и измельчителя веток.

Объекты и методы исследований

Объектом исследований являлись комплекс уборки веток плодовых деревьев. При исследовании применялись абстрактно-логический и расчетно-конструктивный методы.

Обоснование диаметра щетки валкователя

Диаметр рабочего органа валкователя зависит от ширины междурядий сада. Ранее установлено, что ширина между рядами современных интенсивных садов составляет 3-4,5 м.

Таким образом, диаметр рабочего органа валкователя должен составлять (рис. 1):

$$D_b = \frac{b_m - b_u}{2},$$

где b_m – ширина междурядий сада, м;

b_u – ширина захвата измельчителя, м.

Ширина измельчителя зависит от мощности энергетического средства, которое приводит его в движение. Экспериментальным путём установлено, что для садовых тракторов Беларус-921 и наиболее распространённого в Республике МТЗ- 80 зачастую используемого в садоводстве рабочая ширина измельчителя составляет 1,7–1,9 м.

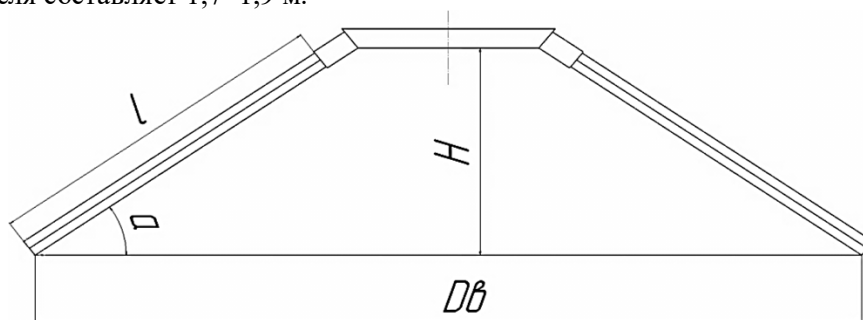


Рис. 1. – Схема рабочего органа валкователя плодов

Таким образом, для садов интенсивного типа диаметр валкователя должен составлять $D_b = 0,55 - 1,4$ м.

Очевидно, при проектировании рабочего органа необходимо выбрать наибольшее значение, для обеспечения выполнения технологического процесса сгребания веток при ширине междурядий 4,5 м, таким образом, $D_b = 1,4$ м.

Определение скорости вращения рабочего органа валкователя и количества щёток

Щетки рабочего органа валкователя должны равномерно располагаться по периметру круга описываемого им при вращении и при работе осуществляют одновременно вращательное движение вокруг своей оси и поступательное движение вместе с машиной.

Траектория движения конца щётки при этом образует трохоиду и описывается уравнениями (рис. 2)

$$X = V_m \cdot t + R \cdot \cos \omega t, \quad (1)$$

$$Y = L_p - R \cdot \sin \omega t$$

или

$$X = \frac{\omega t}{\lambda} \cdot t + R \cdot \cos \omega t.$$

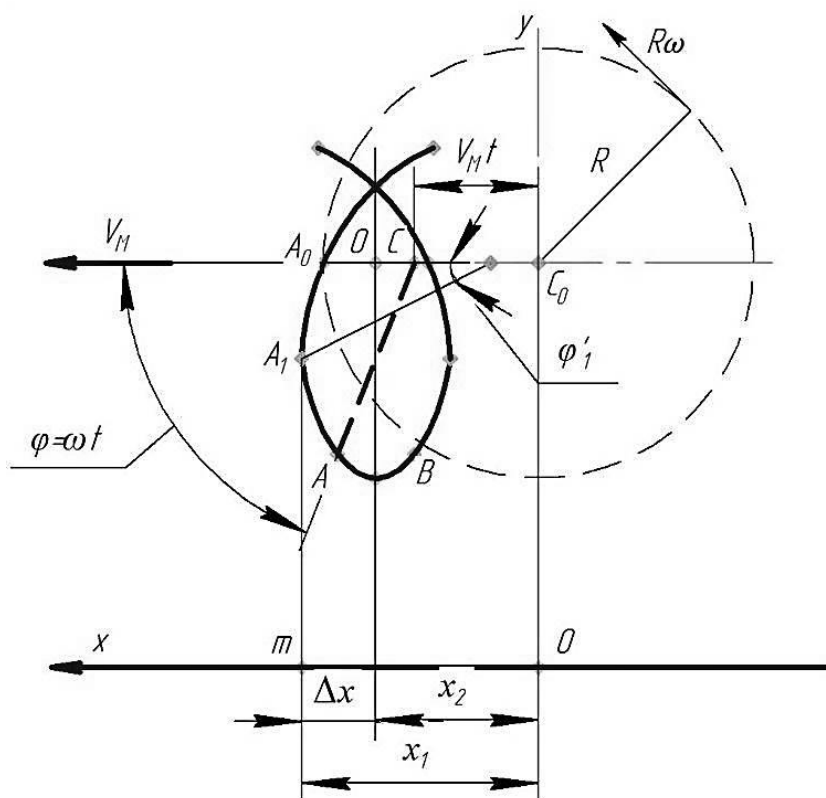


Рис. 2. Траектория движения конца щётки

Выражение (1) представляют собой уравнения, описываемой точкой А щётки валкователя. в зависимости от поступательной скорости машины и относительной скорости вращения щетки $U = \omega t$ вид траектории может изменяться. Очевидно, что щётка валкователя только в тех случаях будет иметь возможность сгребать ветки, когда $\lambda > 1$, т.е. когда $U > V_M$. Иными словами, чтобы перемещать ветки в центр междуядья щётка должна двигаться навстречу им, следовательно, горизонтальная составляющая V_H скорости её должна иметь направление в сторону, обратную движению машины, т.е.

$$V_x = \frac{dx}{dt} > 0,$$

Взяв производную от уравнения (1) получили:

$$V_x = V_M - R\omega \cdot \sin \omega t < 0.$$

Отсюда, учитывая, что $U = R\omega$,

$$V_M < U \cdot \sin \omega t = U \cdot \sin \varphi.$$

Угол φ имеет рабочие пределы 0 и π и, следовательно, наибольшее значение $\sin \varphi = +1$, когда $\varphi = \pi/2$, поэтому, чтобы щётка могла сгребать ветки повернувшись на $\pi/2$ от начального положения необходимо чтобы удовлетворялось условие:

$$V_M < U \text{ или } \lambda > 1.$$

В этом случае V_x получает наибольшую величину:

$$V_x = V_M - U.$$

Если условие $\lambda > 1$ выполнено, то при некотором угле поворота $\varphi_1 = \omega \cdot t_1$ скорость V_x может снизиться для 0. Этот угол определяется из равенства

$$V_x = V_M - U \cdot \sin \varphi_1 = 0,$$

$$\sin \varphi_1 = \frac{1}{\lambda},$$

откуда

$$\varphi_1 = \omega \cdot t_1 = \arcsin \frac{V_M}{U} = \arcsin \frac{1}{\lambda}.$$

Итак, при условии $\lambda = \frac{V_M}{U} > 1$ щётка валкователя может осуществлять сгребание веток.

Если рабочий орган валкователя z щёток, вращающихся с угловой скоростью ω и перемещается с поступательной скоростью V_M , то в течение времени $T = 2\pi/\omega$ полного оборота последовательно будут действовать все z щётки (рис. 3).

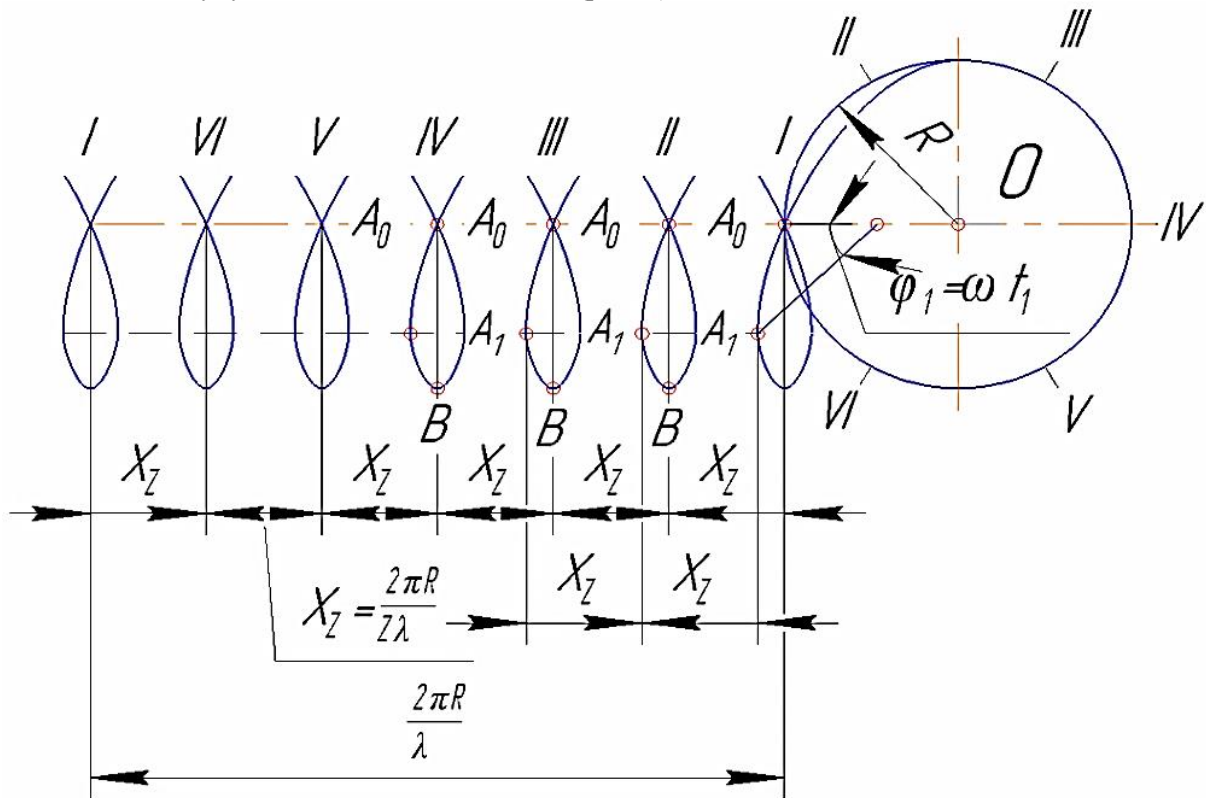


Рис. 3. Траектория движения конца щётки

Отрезок времени $t_z = \frac{T}{z}$, является временем, в течение которого может действовать каждая отдельная щетка, отсчитывая это время с момента начала взаимодействия щетки с веткой и до момента, когда следующая щетка начнет взаимодействовать с ветками, получим:

$$t_z = \frac{2\pi}{z\omega} = \frac{\varphi'_1 - \varphi_1}{\omega}$$

отсюда

$$\varphi'_1 = \varphi_1 + \frac{2\pi}{z}$$

Машина, а вместе с ней и щётка, за время t_z переместится на расстояние:

$$X_z = V_M \cdot t_z = \frac{2\pi}{z\omega} \cdot V_M$$

или, учитывая, что $V_M = \frac{\omega \cdot R}{\lambda}$, получим:

$$X_z = \frac{2\pi R}{z\lambda} \quad (2)$$

Назовём X_z шагом щётки, выражение (2) показывает, что шаг щётки прямо пропорционален радиусу R и обратно пропорционален числу щёток и показателю λ .

На рисунке отмечен шаг щеток расстояниями между точками A_1 , где щетки последовательно взаимодействуют с ветками. Это же расстояние сохраняется между точками A_0 , где щетки приходят на уровень горизонтального диаметра рабочего органа валкователя, или между нижними точками B петель трохойды.

Если щеток n , то за один оборот щетки все n щеток будут взаимодействовать с ветками, следовательно, будет n траекторий их движения, а временной интервал между ними Δt составит:

$$\Delta t = \frac{t_{об}}{n},$$

где n – количество щёток.

Таким образом, каждая следующая щетка будет вступать во взаимодействие с ветками через Δt времени после предыдущей

$$\Delta t = \frac{2\pi}{\omega n}$$

тогда

$$t_2 = t_1 + \Delta t,$$

$$t_3 = t_2 + \Delta t = t_1 + 2\Delta t,$$

$$t_4 = t_3 + \Delta t = t_1 + 3\Delta t,$$

$$t_5 = t_4 + \Delta t = t_1 + 4\Delta t; \text{ и так далее.}$$

Наложение траектории движения щёток щёточного узла подборщика изображены на рис. 4.

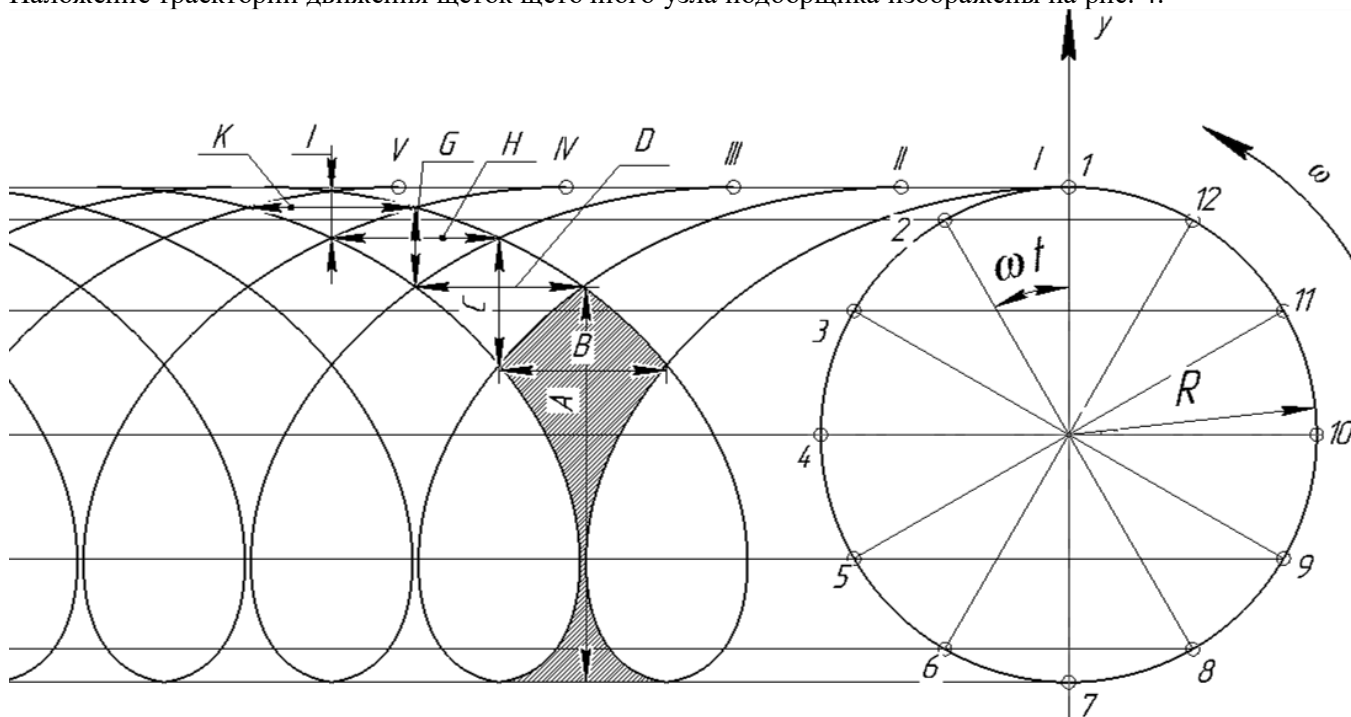


Рис. 4. Схема к определению динамического коэффициента при работе щеток валкователя λ

Экспериментальным путем установлено, что размер срезаемых веток варьируется от 0,3 до 1,5 м. При этом из рисунка 4 видно, что для обеспечения полного сгребания веток необходимо, чтобы размеры А, В, С, D, Е, F, G, H, I и К не превышали максимального значения длины веток, то есть 0,3 м.

При этом расстояние $B = D = F = H = K$ и составляет:

$$S_x = \frac{S_0}{z} = \frac{2\pi}{z\lambda} R,$$

то есть:

$$B = 0,3 \leq S_x = \frac{2\pi}{z\lambda} R.$$

Таким образом

$$\lambda = \frac{2\pi}{zS_x} R.$$

Если $S_x = 0,3\text{м}$, то

$$\lambda = \frac{2\pi}{0,3z} R.$$

Но, из рисунка, очевидно, что величины D, E, G, I меньше значений B, D, F, H, K.

Наибольшее значение имеет величина А при такой работе валкователя, когда траектории щёток не пересекаются, т.е. когда $2\Delta x \leq S_x$ следовательно:

$$2 \frac{R}{\lambda} \left(\varphi_1 + \sqrt{\lambda^2 - 1} - \frac{\pi}{2} \right) \leq \frac{2\pi}{z\lambda} R.$$

Или

$$X_5 - X_9 = S_x,$$

$$X_5 = R \cdot \sin \omega t_5 + \frac{\omega R}{\lambda} t_5,$$

$$X_9 = R \cdot \sin \omega t_9 + \frac{\omega R}{\lambda} t_9.$$

Преобразовывая полученные выражения, получим следующее:

$$\lambda = \frac{2\pi R - z(\omega R t_5 - \omega R t_9)}{Rz(\sin \omega t_5 - \sin \omega t_9)}.$$

Графическое отображение полученного выражения изображено на рисунке 5.

Из рисунка 5 очевидно, что зависимость имеет характер степенной функции.

При малом количестве щеток коэффициент $\lambda = 3 \dots 5$, что значительно повышает затраты энергии на выполнение технологического процесса. Наиболее рациональным является количество щеток 4-6 на щеточном узле валкователя. При этом коэффициент $\lambda = 1,8 - 2,2$.

При дальнейшем увеличении количества щеток на щеточном узле, при условии полного сгребания веток, динамический коэффициент снижается незначительно, а металлоёмкость конструкции сильно возрастает.

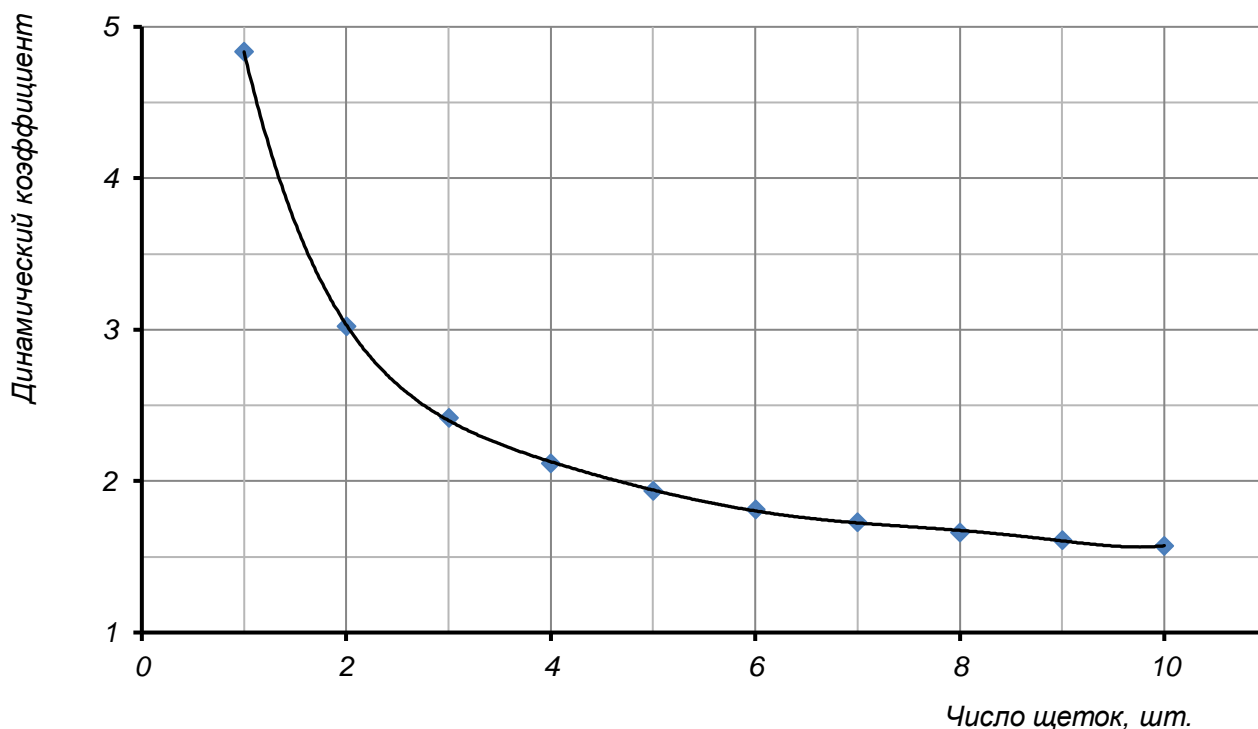


Рис. 5. Зависимость динамического коэффициента от количества щеток

Экспериментальным путем установлено, что полное измельчение ветвей происходит при скорости движения агрегата по междурядью 0,9–1,2 км/ч (0,25–0,33 м/с), таким же будет движение и всего комплекса.

Таким образом, рабочая скорость щетки валкователя должна составлять 0,38–0,73 м/с.

Обоснование жесткости щетки валкователя

Обоснование жесткости щетки валкователя ведем из условия максимального их изгиба, когда палец касается ветки параллельно поверхности почвы. В этом случае усилие прижатия ветки пальцем не должно превышать допустимого значения $P_{дон}$.

Расчет пальца на изгиб проводим из условия неизменности его длины. Предположим, что при максимальном изгибе палец принимает форму четверти окружности (рис. 6), тогда длина пальца, как четверть дуги окружности, определится из выражения:

$$l_B = R_{\text{изг}} \cdot \frac{\pi}{2}$$

откуда

$$R_{\text{изг}} = \frac{2l_B}{\pi} \quad (3)$$

где $R_{\text{изг}}$ – радиус изгиба пальца.

Прогиб пальца в начале изгиба согласно []

$$X_{\text{а.н.}} = \frac{P \cdot l}{3E \cdot J} \quad (4)$$

где E – модуль упругости материала пальца;

J – момент инерции поперечного сечения пальца;

P – восстанавливающая сила упругости пальца.

Так как процесс изгиба от начала до конца подчиняется закону Гука, то формула (4) справедлива и для конечного перемещения пальца. Учитывая, что

$$X_{\text{а.к.}} = R_{\text{изг}} = \frac{2l_B}{\pi} \quad (5)$$

Для конечного перемещения пальца получим

$$\frac{2l_B}{\pi} = \frac{P \cdot l}{3E \cdot J} \quad (6)$$

Уравнение (6) дает значение обобщенного показателя жесткости пальцев

$$E \cdot J = \frac{P \cdot \pi \cdot l_B^2}{\sigma} \quad (7)$$

Из уравнения (7) следует, что жесткость пальцев зависит как от материала, так и от длины пальцев.

Из рис. 6 видно, что $l_2 = \frac{D}{2} \cos \alpha$ при этом $l_2 = 2R_{\text{изг}} \cdot \sin \frac{\gamma}{2}$ – также длина дуги образуемая пальцами щеточного узла щетки валкователя

$$S = \frac{\pi \cdot R_{\text{изг}} \cdot \gamma}{180} \quad (8)$$

При $\gamma=90^\circ$, (крайнее значение)

$$S = \frac{\pi \cdot R_{\text{изг}}}{2} \quad (9)$$

Преобразуя выражение, получим следующее:

$$R_{\text{изг}} = \frac{l_2}{2 \sin 45} = \frac{D \cdot \cos \alpha}{4 \sin \frac{\gamma}{2}} \quad (10)$$

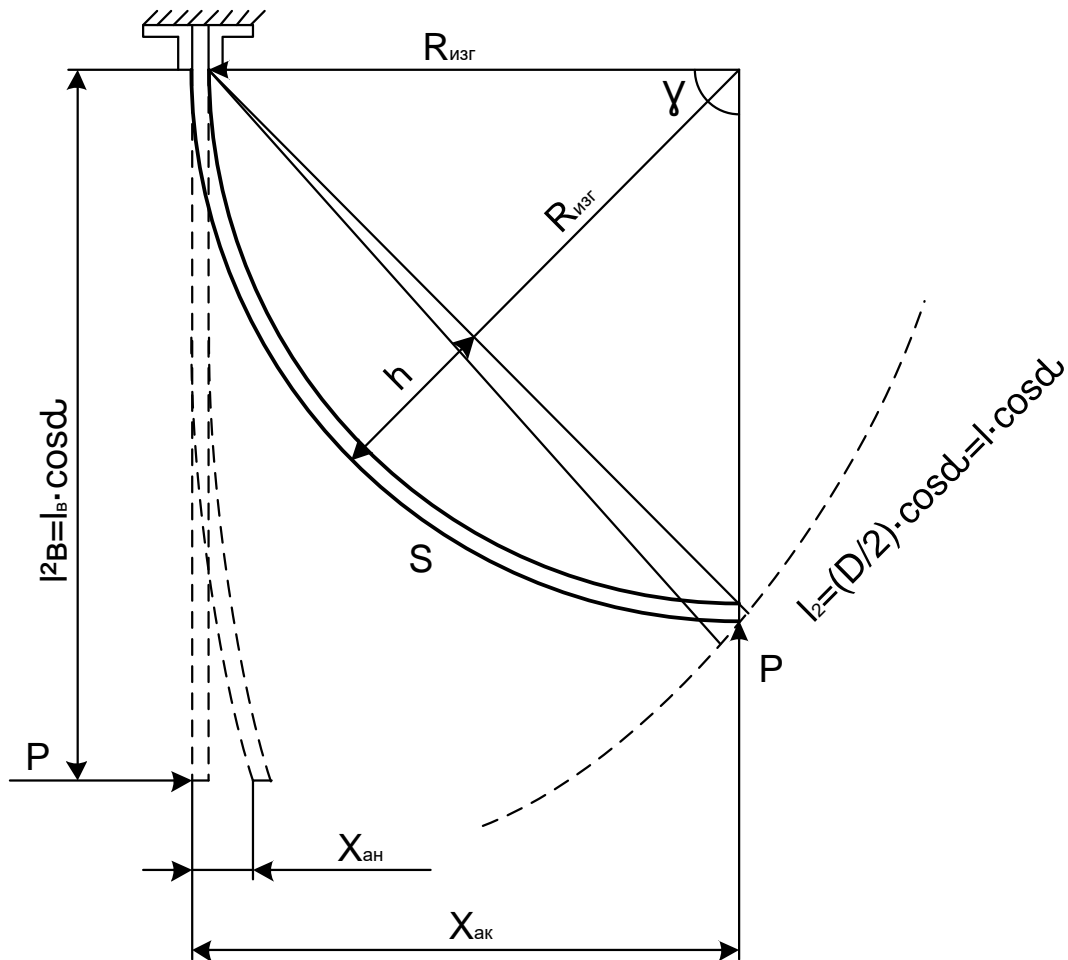


Рис. 6. Схема к обоснованию жесткости пальца

Тогда:

$$S = \frac{\pi \cdot D \cdot \cos \alpha}{8 \sin \frac{\gamma}{2}} = 0,67 \text{ м}$$

При этом из рисунка 6 видно, что длина дуги S равна горизонтальной проекции пальцев щеточного узла.

$$S = l_{B2}$$

Тогда учитывая, что

$$l_{B2} = l_B \cos \alpha$$

получим

$$l_{B2} = \frac{\pi \cdot D \cdot \cos \alpha}{8 \sin \frac{\gamma}{2}} = 0,78 \text{ м}$$

Таким образом, при такой длине пальцев обобщенный показатель жесткости пальцев щеточного узла должен быть в пределах

$$E \cdot J = 0,32P$$

Экспериментальным путем установлено, что усилие, необходимое для перемещения отдельных веток диаметром до 70 мм может составлять до 100 Н, тогда обобщенный показатель жесткости пальцев щеточного узла составляет 40,8 кН·мм².

Заключение

1. Проведены теоретические исследования по обоснованию ширины захвата валкователя веток по агротехническим и технологическим требованиям производительности и определен диаметр щетки щеточного узла 1,4 м.
2. Кинематико-энергетическим анализом области технологического функционирования валкователя веток определено рациональное количество щеток на щеточном узле валкователя 4 ... 6 и скорость их вращения 0,38–0,73 м/с и динамический коэффициент 1,8 – 2,2;
3. Графический анализ процесса перемещения ветвей щеточным узлом позволил установить рациональную длину пальцев щеточного узла 0,78 м и их жесткость 40,8 кН · мм².

Список использованных источников

1. Ланцев, Ю.В. Совершенствование технологии утилизации отходов обрезки в слаборослых садах с обоснованием параметров измельчителя : Автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01. – Мичуринск, 2004. – 23 с.
2. Заммоев, А.У. Параметры и режимы работы измельчительного устройства подборщика-измельчителя срезанных ветвей плодовых деревьев // Автореф. дисс. ...канд. техн. наук: 05.20.01. – Нальчик, 2006. – 24 с.
3. Машины для формирования кроны и уборки урожая плодовых культур /Г.П. Варламов: [и др.], – М., «Машиностроение», 1975 – 206 с.