

# ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В СЕЧЕНИЯХ СТВОЛОВ ДЕРЕВЬЕВ ПРИ ПНЕВМАТИЧЕСКОМ СПОСОБЕ УБОРКИ ПЛОДОВЫХ

**ЕЛИСЕЕВ Михаил Семенович**, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

**ВАСИЛЬЧИКОВ Валентин Владимирович**, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

**ЛЕОНТЬЕВ Алексей Алексеевич**, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

**МАРАДУДИН Алексей Максимович**, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

**ПЕРЕТЯТЬКО Андрей Владимирович**, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

56

Приведена методика расчета на прочность стволов плодовых деревьев при работе пневматического встряхивателя плодов. С учетом технологических и конструктивных параметров работы пневматического встряхивателя выведен закон изменения изгибающего момента по длине ствола дерева, определен требуемый угол поворота сопла вентилятора пневматического встряхивателя.

**Введение.** Для сбора урожая с плодовых деревьев может применяться бесконтактный способ с использованием пневматического встряхивателя, конструктивная схема которого была рассмотрена нами ранее [3–5]. При его работе на дерево воздействует пульсирующая струя воздуха, которая способствует отделению плодов от веток дерева (рис. 1). Одновременно с этим струя воздуха вызывает динамические деформации изгиба ствола и веток.

**Методика исследований.** Общая методика исследований основана на известных законах и принципах механики, математического анализа, гидравлики и сопротивления материалов и включает в себя разработку рекомендаций для расчета на прочность стволов плодовых деревьев при работе пневматического встряхивателя плодов.

Для определения напряжений, возникающих в стволе и ветвях, рассмотрим ствол дерева как

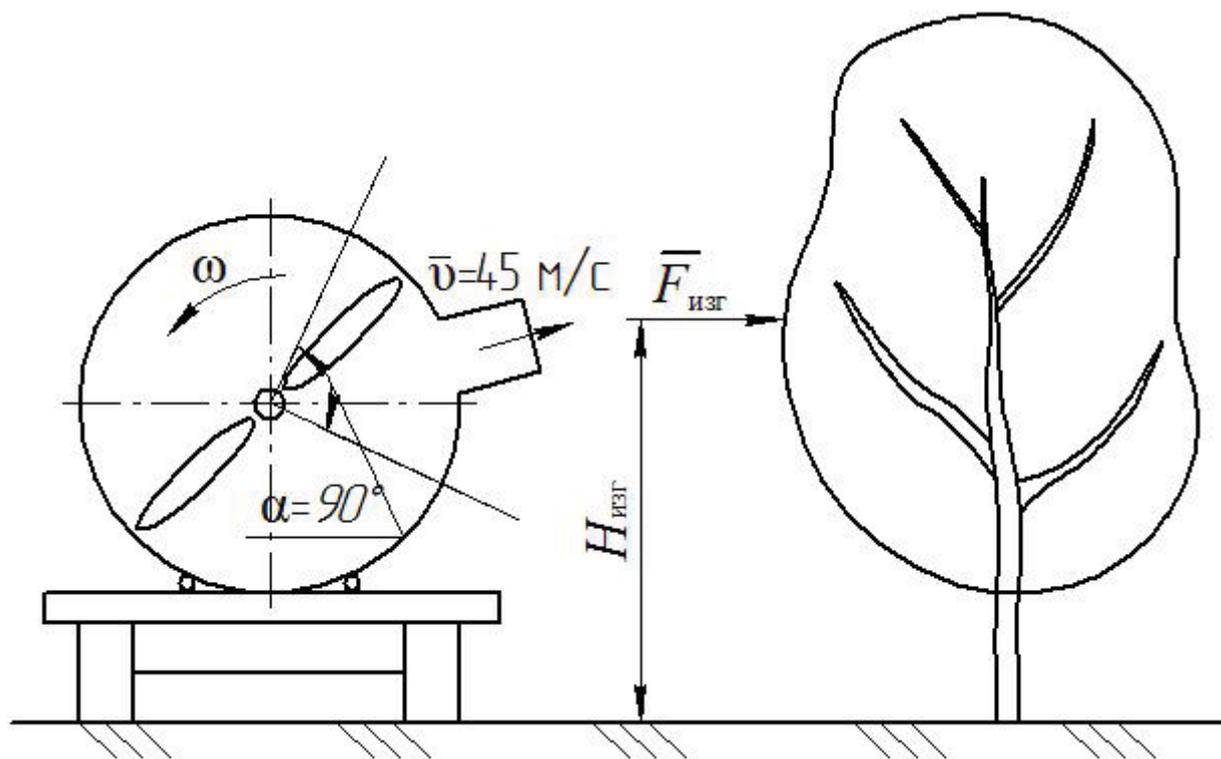


Рис. 1. Схема работы пневматического встряхивателя



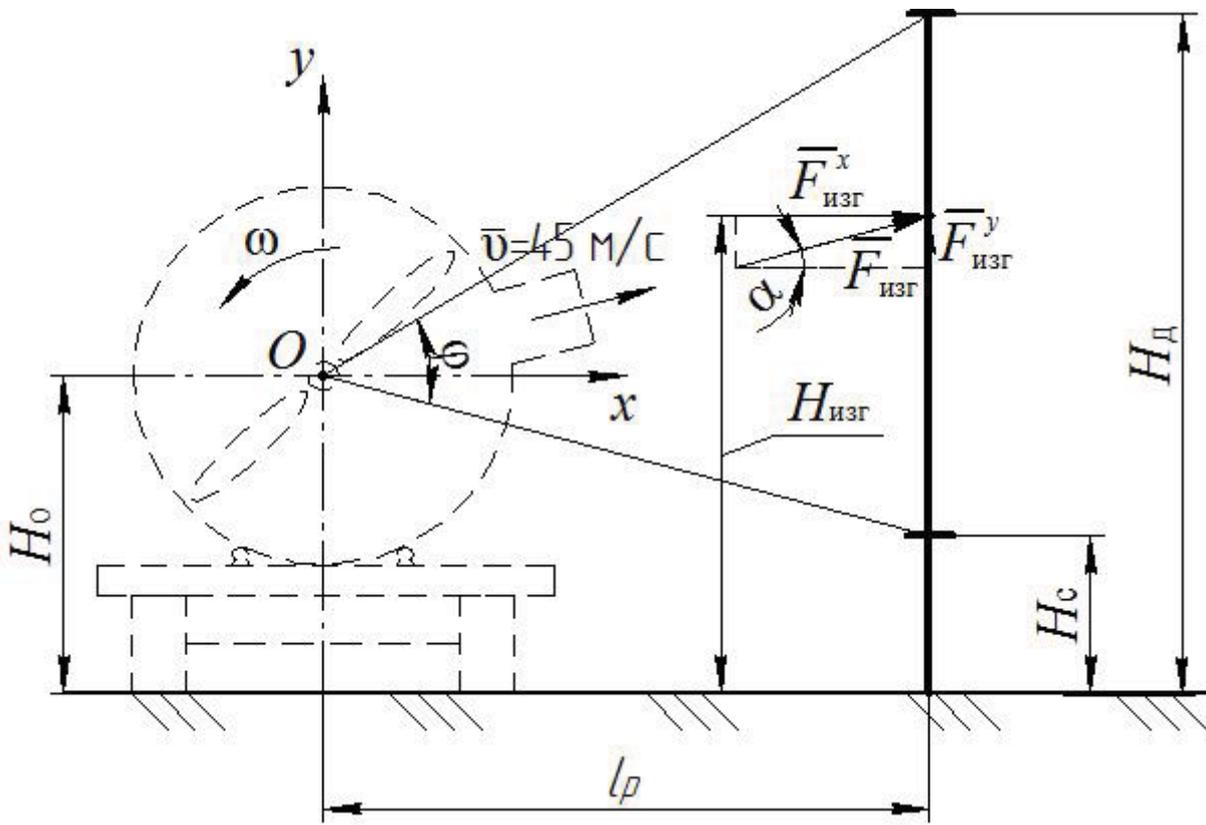


Рис. 2. Схема к определению деформации ствола

балку равного сопротивления, жестко зашпеленную одним концом (рис. 2).

Деформациями в корневой системе в данном случае можно пренебречь.

Запишем закон изменения изгибающего момента по длине ствола в виде

$$M_u = F_{изг} H_{изг}, \quad (1)$$

где  $F_{изг}$  – изгибающее усилие, создаваемое пневматическим встряхивателем, Н;  $H_{изг}$  – высота, на которой действует изгибающая сила, м.

Граничные условия

$$H_c \leq H_{изг} \leq H_d,$$

где  $H_c$  – среднее значение высоты штамба плодового дерева, м;  $H_d$  – среднее значение высоты плодового дерева, м.

Исходя из схемы на рис. 2,

$$H_{изг} = H_0 + l_p \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где  $H_0$  – высота оси вращения сопла вентилятора пневматического встряхивателя, м;  $l_p$  – расстояние между пневматическим встряхивателем и стволом дерева во время работы, м;  $\alpha$  – угол отклонения струи воздуха от горизонтали, град.

Разложим изгибающее усилие  $F_{изг}$  на горизонтальную и вертикальную составляющие. Изгибу ствола дерева будет способствовать только горизонтальная составляющая  $F_{изг}^x = F_{изг} \cos \alpha$ .

Закон изменения изгибающего момента по длине ствола будет иметь следующий вид:

$$M_u = F_{изг} \cos \alpha (H_0 + l_p \operatorname{tg} \alpha). \quad (3)$$

Угол  $\alpha$  будет изменяться в пределах (рис. 3):

$$\varphi_1 \leq \alpha \leq \varphi_2,$$

где  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – нижняя и верхняя границы действия сопла вентилятора встряхивателя, град.

На основании расчетной схемы, представленной на рис. 3, выражения для определения нижней и верхней границ действия сопла вентилятора встряхивателя можно представить в виде

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{H_0 - H_c}{l_p}; \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{H_d - H_0}{l_p};$$

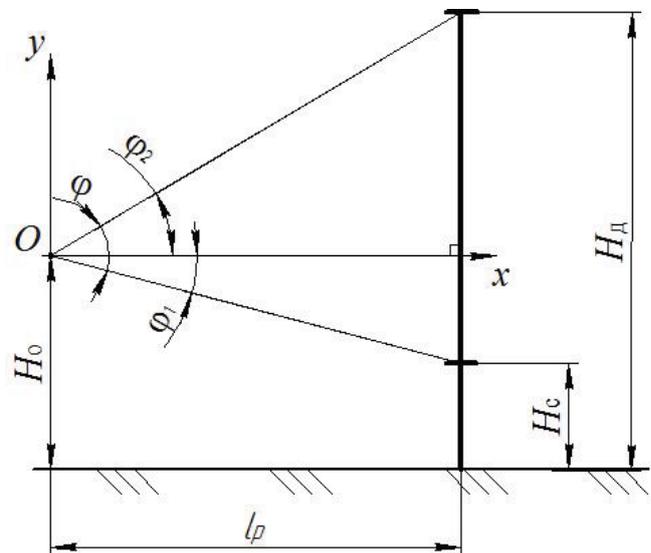


Рис. 3. Схема к определению угла  $\varphi$





Требуемый угол поворота сопла вентилятора пневматического встряхивателя в этом случае равен

$$\varphi = \arctg\left(\frac{H_o - H_c}{l_p}\right) + \arctg\left(\frac{H_d - H_o}{l_p}\right). \quad (4)$$

Изгибающее усилие может быть найдено из выражения

$$F_{изг} = \frac{P_b}{S_c}, \quad (5)$$

где  $P_b$  – давление воздушной струи, создаваемой пневматическим встряхивателем, Па;  $S_c$  – площадь выходного сечения сопла, м<sup>2</sup>; на основании выполненных расчетов  $S_c = 0,42$  м<sup>2</sup> [1].

В соответствии с проведенными ранее расчетами [1], давление  $P_b$  равно

$$P_b = \frac{\rho v^2}{2} = \frac{1,225 \cdot 45^2}{2} = 1240,31 \text{ Па},$$

где  $\rho$  – плотность среды,  $v$  – скорость воздушного потока на выходе из сопла встряхивателя.

Тогда

$$F_{изг} = P_b \cdot S_c = 1240,31 \cdot 0,42 = 520,93 \text{ Н}.$$

На основании выражения (3) отобразим графически зависимость изгибающего момента от угла  $\alpha$  (рис. 4).

Из анализа построенного на рис. 4 графика можно сделать вывод, что наибольшее значение изгибающий момент принимает при  $\alpha = \varphi_2$ , или когда воздушная струя воздействует на верхнюю часть кроны дерева.

Расчет на прочность деревянных элементов выполняется по формуле [2]:

$$\sigma_{и} = \frac{M_{изг}}{W_{расч}} \leq R_{и}, \quad (6)$$

где  $\sigma_{и}$  – максимальное нормальное напряжение в рассматриваемом сечении, Па;  $W_{расч}$  – расчетный момент сопротивления поперечного сечения элемента, м<sup>3</sup>;  $R_{и}$  – расчетное сопротивление древесины изгибу с учетом всех необходимых коэффициентов условий работы, Па.

Для поперечного сечения круглой формы

$$W_{расч} = \frac{\pi d_{и}^3}{32}, \quad (7)$$

где  $d_{и}$  – диаметр ствола в произвольном сечении, м.

**Заключение.** На основании выражений (6) и (7) можем сделать вывод, что диаметр ствола дерева, обеспеченный необходимой прочностью при воздействии пневматического встряхивателя, может быть рассчитан по формуле

$$d_c \geq \sqrt[3]{\frac{32 M_{изг}}{\pi R_{и}}}, \quad (8)$$

или с учетом (3)

$$d_c \geq \sqrt[3]{\frac{32 F_{изг} \cos \alpha (H_o + l_p \operatorname{tg} \alpha)}{\pi R_{и}}}. \quad (9)$$

В соответствии с выражением (9) по известному расчетному сопротивлению изгибу древесины различных сортов нами определены диаметры

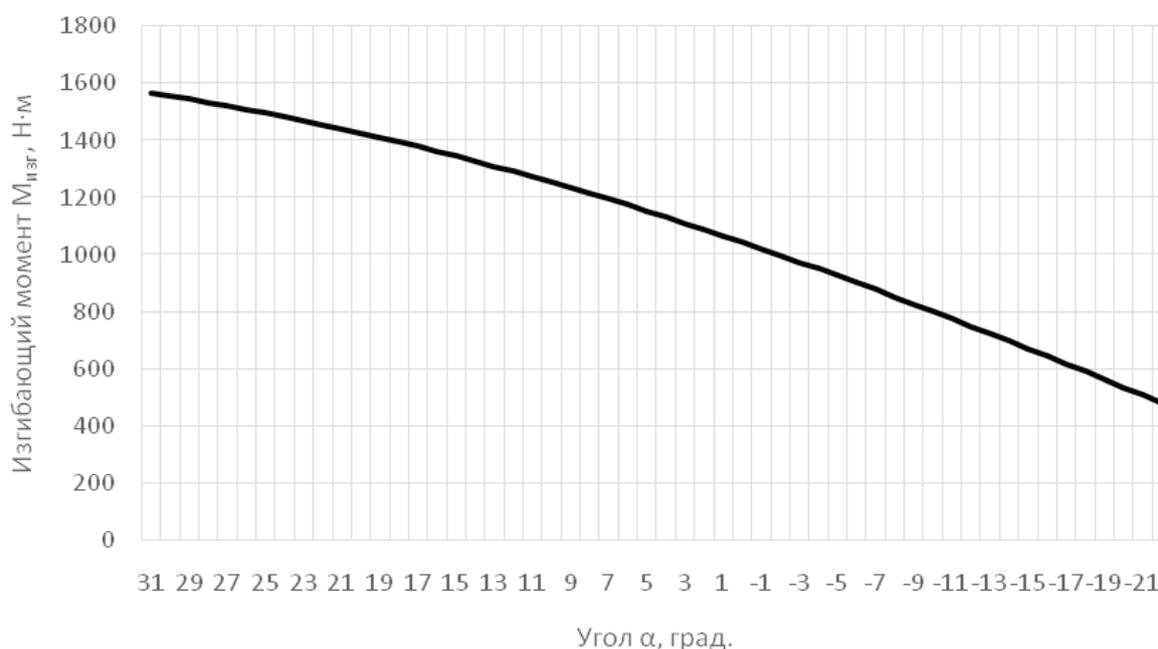


Рис. 4. Зависимость вида  $M_{изг} = f(\alpha)$

стволов, обеспеченные необходимой прочностью. Для яблони лесной ( $R_{ii} = 80,7 \cdot 10^6$  Па [1])  $d_{\geq} 58,22$  мм; для груши обыкновенной ( $R_{ii} = 130 \cdot 10^6$  Па [3])  $d_{\geq} 49,67$  мм. Диаметр у основания ствола плодовых деревьев в возрасте 4–5 лет (начало плодоношения) превышает полученные показатели. В то же время уменьшающемуся в высоту диаметру ствола соответствует снижающийся внутренний изгибающий момент. Следовательно, стволам деревьев в период плодоношения (возраст 4–5 лет и старше) при работе пневматического встряхивателя вреда не причиняется.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровиков А.М., Уголева Б.Н. Справочник по древесине / под ред. Б.Н. Уголева. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 293 с.
2. Калугин А.В. Деревянные конструкции: учеб. пособие (конспект лекций). – М.: АСВ, 2003. – 224 с.
3. Обоснование конструктивно-кинематических параметров питающего устройства / М.С. Елисеев [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 9. – С. 50–56.
4. Подбор осевого вентилятора для пневматического встряхивателя плодов / М.С. Елисеев [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 11. – С. 89–92.
5. Марадудин А.М., Загоруйко М.Г., Леонтьев А.А. Теоретический расчет устройства для сбора соломы с

поверхности поля при вертикальном мульчировании // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 11(42). – Ч. 6. – С. 73–76.

**Елисеев Михаил Семенович**, д-р техн. наук, проф. кафедры «Математика, механика и инженерная графика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

**Васильчиков Валентин Владимирович**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Математика, механика и инженерная графика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

**Леонтьев Алексей Алексеевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Математика, механика и инженерная графика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

**Марадудин Алексей Максимович**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Математика, механика и инженерная графика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

**Перетьяко Андрей Владимирович**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Математика, механика и инженерная графика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия. 410056, г. Саратов, ул. Советская, 60. Тел.: (8452) 74-96-63.

**Ключевые слова:** прямой изгиб; пневматический встряхиватель; давление; воздушный поток; напряжение; расчет на прочность.

#### RESEARCH OF THE STRESSED STATE IN THE SECTIONS OF TREES' TRUNKS IN A PNEUMATIC METHOD FOR FRUIT HARVESTING

**Eliseev Mikhail Semenovih**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair "Mathematics, Mechanics and Engineering Graphics", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

**Vasylichikov Valentin Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Mathematics, Mechanics and Engineering Graphics", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

**Leontyev Aleksey Alekseevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Mathematics, Mechanics and Engineering Graphics", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

**Maradudin Aleksey Maksimovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Mathematics, Mechanics and Engineering Graphics", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

**Peretyatko Andrey Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Mathematics, Mechanics and Engineering Graphics", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

**Keywords:** symmetrical bending; pneumatic shaker; pressure; air flow; voltage; strength calculation.

**The method of calculating the strength of fruit tree trunks during operation of a pneumatic fruit shaker is presented. Taking into account the technological and design parameters of the pneumatic shaker, the law of changing the bending moment along the length of the tree trunk is derived, the required angle of rotation of the fan nozzle of the pneumatic shaker is determined.**

