



УДК 595.768.24.+630\*453.543.789  
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.69

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОТРЯХИВАНИЯ ГУСЕНИЦ И ШИШЕК С ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ

*С.Н. Орловский<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.*

*С.А. Астапенко<sup>2</sup>, канд. биол. наук, инж.-лесопатолог*

*С.В. Комиссаров,<sup>1</sup> ст. преп.*

<sup>1</sup>Красноярский государственный аграрный университет, просп. Мира 90, г. Красноярск, Россия, 660049; e-mail: orlovskiysergey@mail.ru

<sup>2</sup>Филиал ФБУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Красноярского края», Академгородок, 50 «а», корп. 2, г. Красноярск, Россия, 660036; e-mail: forest\_les@mail.ru

Проблемой чрезвычайной важности является получение достоверных сравнимых результатов при проведении детального надзора за опасными хвое- и листогрызущими вредителями при учете их в кроне дерева и сборе шишек хвойных деревьев. Цель работы – исследование ускорения кроны, обеспечивающего отрыв гусениц и шишек от веток. Решена задача определения поперечных смещений и ускорений ствола дерева под действием толчка (импульса), производимого на ствол дерева отдачей цилиндра при вылете из него поршня под воздействием взрыва порохового заряда. Проанализированы способы учета гусениц при детальном надзоре, околоте кедров при отряхивании шишек. Описана конструкция разработанного авторами оборудования для отряхивания гусениц и шишек с хвойных деревьев. Программа исследований предусматривала анализ влияния конструктивных особенностей отряхивателя, высоты точки приложения силы к стволу дерева, массы поршня, величины порохового заряда, характеристик модельного дерева. Исследования проводились как на математической модели, так и в натуральных условиях на макетном образце отряхивателя. Методы работы – математическое моделирование и экспериментальные исследования. Получены математические зависимости определения полной кинетической энергии системы дерево–отряхиватель, усилия толчка в зависимости от конструктивных параметров отряхивателя, массы поршня и величины заряда. Приведены теоретические основы расчета параметров удара, достаточных для сбивания гусениц и шишек. Составлены уравнения колебаний ствола дерева и ветки в различных точках. Определены формы колебаний, поперечные смещения и ускорения ствола дерева и ветки от импульса силы в зависимости от исходных данных на разном удалении от ствола в три последовательных момента времени. Экспериментально определены усилия удержания гусениц сибирского шелкопряда на ветке дерева в зависимости от возраста гусеницы в спокойном и потревоженном состояниях. Сделаны выводы о применимости устройства для отряхивания гусениц и шишек кедра, сосны, лиственницы европейской и японской. На основании полученных

результатов можно обосновывать конструктивные параметры отряхивателя и оценивать эффективность его применения.

*Ключевые слова:* насекомые-вредители, мониторинг, кедровые шишки, отряхивание, устройство, эксперименты, толчок, колебания, амплитуда, ускорения, параметры, усилия отрыва, применимость.

Для проведения учета численности хвое- и листогрызущих насекомых в кроне дерева применяют различные методы:

метод модельных ветвей, при котором из кроны дерева берется определенное количество ветвей в зависимости от необходимой точности учета зимующих кладок яиц или личинок насекомых-минеров;

валка модельного дерева на полог или его околот на полог колотом или прислонкой, т. е. отрезком древесного ствола диаметром около 15...20 см и длиной 2,5...3,0 м при учете гусениц, питающихся в кроне.

Валка дерева обеспечивает возможность точного учета, но трудоемка и приводит к гибели дерева. При этом для получения достоверных данных необходимо проводить валку значительного количества деревьев. Поэтому в условиях Сибири наибольшее распространение получил метод околата дерева на полог. Однако при использовании этого метода точность учета во многом зависит от силы удара и диаметра ствола дерева. Кроме того, нанесение нескольких ударов по стволу дерева приводит к повреждению коры, способствует заражению дерева дереворазрушающими грибами, местному усыханию ствола в месте нанесенных повреждений, что способствует заселению таких участков стволовыми вредителями. При выполнении больших объемов обследований лесопатологам необходимо иметь устройство, обеспечивающее передачу модельному дереву одного ударного импульса на заданной высоте от поверхности почвы, значение которого можно варьировать в зависимости от диаметра ствола по заранее известной зависимости [4].

Проблема механизации сбора семян хвойных деревьев до настоящего времени также недостаточно проработана. Одним из способов их сбора является применение механизмов, передающих стволу дерева вибрацию или ударный импульс. Наиболее важным показателем при сборе семян с растущих деревьев данным способом является ускорение кроны, обеспечивающее отрыв шишек от веток.

Цель работы – исследование ускорения кроны, обеспечивающего отрыв гусениц и шишек от веток.

Разработанный авторами отряхиватель (рис. 1) представляет собой устройство для передачи дереву ударного импульса на высоте около 3 м. Устройство состоит из снабженного амортизатором 1 цилиндра 2 и поршня 3, во внутренней полости которого размещен закрытый пыжом 4 заключенный в полиэтиленовый пакет пороховой заряд 5. В цилиндре имеется отверстие (в которое вкладывается капсуль 6), совпадающее с запальным отверстием 7 в поршне. На внешней поверхности цилиндра 2 размещен ударно-спусковой механизм, включающий спиральную пружину 8, боек 9, собачку 10, предо-

хранитель 11, спусковой рычаг 12 и взводную рукоять 13. К предохранителю и спусковому рычагу крепится спусковой шнур (не показан). На поршне имеется полость 14 для размещения в ней дополнительного груза массой до 15 кг (например, грунта). На нижней поверхности цилиндра есть гнездо для шеста 15.

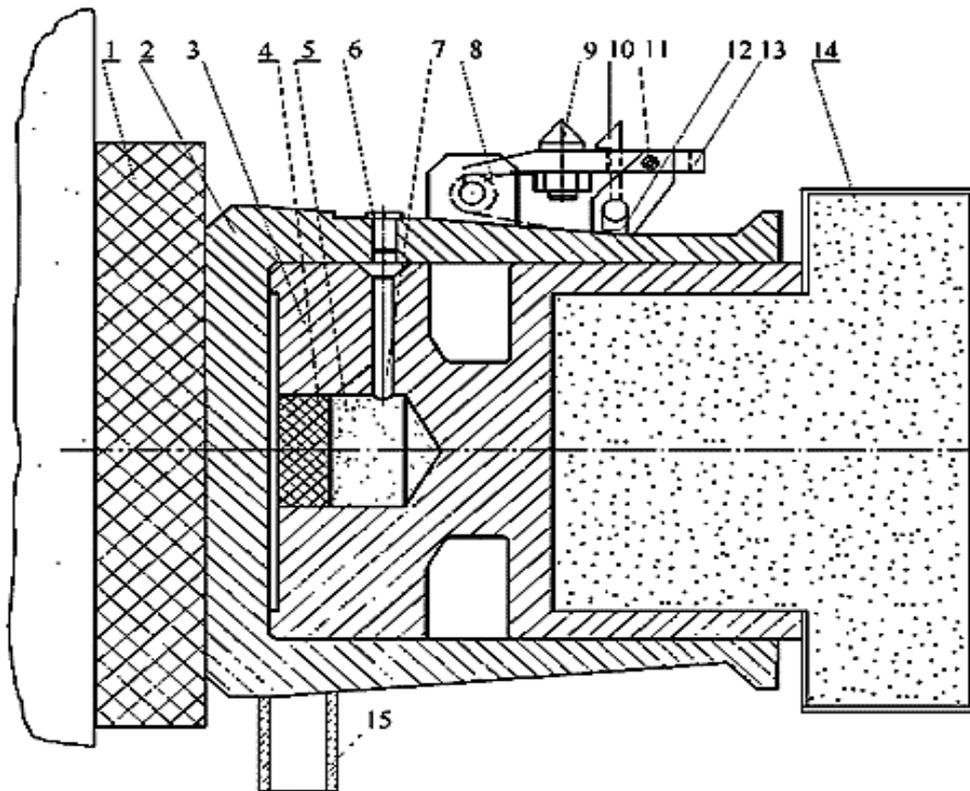


Рис. 1. Устройство для отряхивания гусениц и околота шишек

Устройство работает следующим образом. Оператор, подойдя к участку, выбирает отряхиваемые деревья. В поршень закладывается пакет с зарядом пороха, соответствующей диаметру модельного дерева массы и пыж, а в запальное отверстие цилиндра – капсюль. При необходимости в полость поршня загружается грунт. Ударно-спусковой механизм взводится и ставится на предохранитель, цилиндр одевается на шест, после чего в него вставляется поршень. После закрепления шеста с устройством на стволе дерева быстросъемной стяжкой оператор расстилает полог для сбора упавших гусениц или шишек, отходит на противоположную сторону дерева и натягивает спусковой шнур. Предохранитель выходит из гнезда, спусковой рычаг отводит собачку и освобождает боёк, который под действием пружины ударяет по капсюлю, пламя через запальное отверстие прожигает упаковку заряда и воспламеняет его.

Поршень под действием пороховых газов вылетает из цилиндра, который через амортизатор передает энергию отдачи стволу дерева. Сотрясение ствола передается кроне, находящиеся в ней гусеница или шишки падают на полог. На практике снижение дальности полета поршня до 3...5 м достигается присоединением к нему тормозного парашюта.

Используем следующие обозначения:  $V_{нач}$  – начальная скорость полета поршня при вылете из цилиндра отряхивателя;  $m_{п}$  – масса поршня;  $V_0$  – начальная скорость, передаваемая массе дерева  $m_0$  (скорость «отдачи» цилиндра устройства). Под массой дерева в расчетах принимается масса ствола модельного дерева, приведенная в центр масс [2];  $\Delta t$  – время движения поршня в цилиндре.

$$V_{нач} \cdot m_{п} = V_0 \cdot m_0.$$

Испытания опытного образца устройства проводились в сосновых лесах Красноярского края там, где имелись очаги размножения сибирского шелкопряда (при участии сотрудников «Центра защиты леса Красноярского края»), проводивших учет отпада гусениц, а также в кедровых лесах. Устройство испытывалось при высоте его установки 2,5 м над поверхностью почвы, массе заряда дымного пороха «Медведь» 7 г и массе поршня  $m_{п} = 10$  кг и дали следующие результаты:  $V_{нач} = 25$  м/с;  $\Delta t = 0,012$  с.

Параметры  $V_0$  и  $m_0$  можно рассчитать, зная полную кинетическую энергию  $E_k$  системы. При одной и той же массе пороха она должна быть константой. Энергию  $E_k$  можно приблизительно оценить, если устройство закрепить не на дереве, а на массивном основании. Тогда почти вся энергия системы будет равна кинетической энергии поршня [6]:

$$E_k = \frac{m_{п}}{2} V_{нач}^2.$$

Зная  $E_k$ ,  $V_{нач}$ ,  $m_{п}$ , решаем систему уравнений

$$\begin{cases} V_{нач} m_{п} = V_0 m_0 \\ \frac{m_0}{2} V_0^2 + \frac{m_{п}}{2} V_{нач}^2 = E_k \end{cases}$$

получаем

$$V_0 = \frac{2E_k}{m_{п} V_{нач}} - V_{нач}; \quad (1)$$

$$m_0 = m_{п} V_{нач} / V_0.$$

Скорость  $V_{нач}$  рассчитываем по известным физическим формулам [1] при известной высоте установки устройства  $h$  и дальности полета поршня  $S$  без учета сопротивления воздуха.

Зная массу гусеницы или шишки и усилие их отрыва от кроны дерева, можно на основе второго закона Ньютона пролучить требуемое значение ускорения в зоне отряхивания.

Поперечные ускорения и смещения ствола дерева можно рассчитать, если представить дерево колеблющейся балкой длиной  $L$ , один конец которой жестко закреплен, другой – свободен. Будем считать для простоты, что эта

балка имеет постоянное круглое сечение среднего радиуса  $r$ . Тогда для описания колебаний используем следующее дифференциальное уравнение в частных производных [6]:

$$\frac{\partial^4 Y}{\partial x^4} = -\frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2}, \quad (2)$$

где  $y$  – координата перпендикулярная  $x$ , с направлением вдоль приложенной силы;

$x$  – координата вдоль ствола дерева;

$$a = \frac{r}{2} \sqrt{\frac{E}{\rho}};$$

$E$  – модуль Юнга;

$\rho$  – плотность.

Решение уравнения (2) определяется граничными и начальными условиями:

$$\begin{aligned} (X_i(x))_{x=0} &= 0; & \left(\frac{dX_i}{dx}\right)_{x=0} &= 0; \\ \left(\frac{d^2 X_i}{dx^2}\right)_{x=L} &= 0; & \left(\frac{d^3 X_i}{dx^3}\right)_{x=L} &= 0; \\ Y(x, 0) &= 0; & \left(\frac{dY}{dt}\right)_{t=0} &= V(x). \end{aligned} \quad (3)$$

Предположим, что  $V(x) = V_0$  на небольшом участке  $\delta$  в окрестности точки  $x = h$  и  $V(x) = 0$  при всех остальных  $x$  (локализованный удар). Расчетные аналитические формулы для поперечного колебания ствола дерева:

поперечное смещение, вдоль оси  $y$ , в точке  $x$ , в момент времени  $t$

$$Y(x, t) = \sum_{i=1}^{\infty} X_i(x) \frac{\varphi_i}{p_i} \sin(p_i t), \quad (4)$$

где  $i$  – номер гармоники ( $i = 1, 2, 3, \dots$ );

$$X_i(x) = \text{ch}(k_i x) - \cos(k_i x) - \beta(\text{sh}(k_i x) - \sin(k_i x)); \quad \beta_i = \frac{\cos(k_i L) + \text{ch}(k_i L)}{\sin(k_i L) + \text{sh}(k_i L)};$$

$$\varphi_i = X_i(h) V_0 \delta / \xi_i; \quad \xi_i = \int_0^L X_i^2(x) dx;$$

$$p_i = a k_i^2 - \text{частоты};$$

$k_i L$  – корни уравнения  $\cos(k_i L) \text{ch}(k_i L) = -1$  (с точностью  $10^{-3}$ :  $k_1 L \approx 1,875$ ;

$k_2 L \approx 4,694$ ;  $k_3 L \approx 7,855$ ; при  $i > 3$ :  $k_i L \approx (i - 0,5)\pi$ ;

поперечное ускорение ствола дерева

$$Y''(x, t) = \frac{\partial^2 Y(x, t)}{\partial t^2} = -\sum_{i=1}^{\infty} X_i(x) p_i \varphi_i \sin(p_i t). \quad (5)$$

Каждой гармонике с номером  $i$  соответствует гармоническое колебание ствола дерева с частотой  $p_i$  и периодом  $T_i = 2\pi/p_i$ . При численных расчетах необходимо ограничиваться конечным количеством гармоник  $i_{\max}$ , исходя из требуемой точности.

На рис. 2, 3 представлены расчетные поперечные смещения и ускорения ствола дерева, также формы колебаний  $X_i(x)$  при следующих исходных данных:  $E = 5 \cdot 10^9$  Па;  $\rho = 800$  кг/м<sup>3</sup>;  $L = 30$  м;  $r = 0,1$  м;  $V_0 = 10$  м/с;  $\delta = 0,2$  м;  $h = 2$  м;  $i_{\max} = 10$ . При этих исходных данных:  $a = 250$ ;  $T_1 = 6,43$  с;  $T_2 = 1,03$  с;  $T_3 = 0,37$  с.  $T_1 = 0,429$  с;  $T_2 = 0,068$  с;  $T_3 = 0,024$  с.

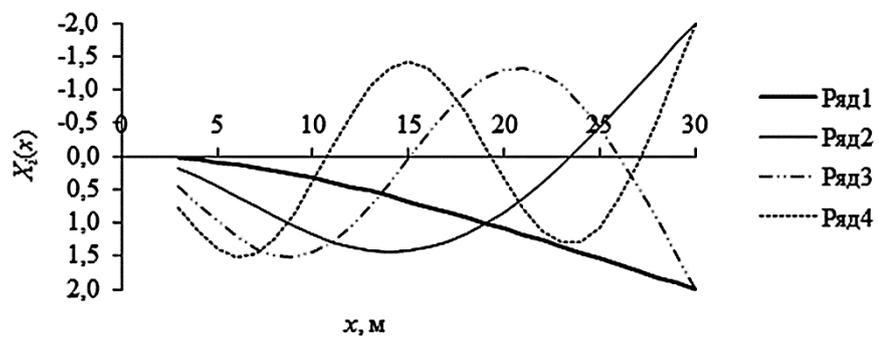


Рис. 2. Первые четыре формы колебаний  $X_i(x)$  ствола дерева высотой 30 м

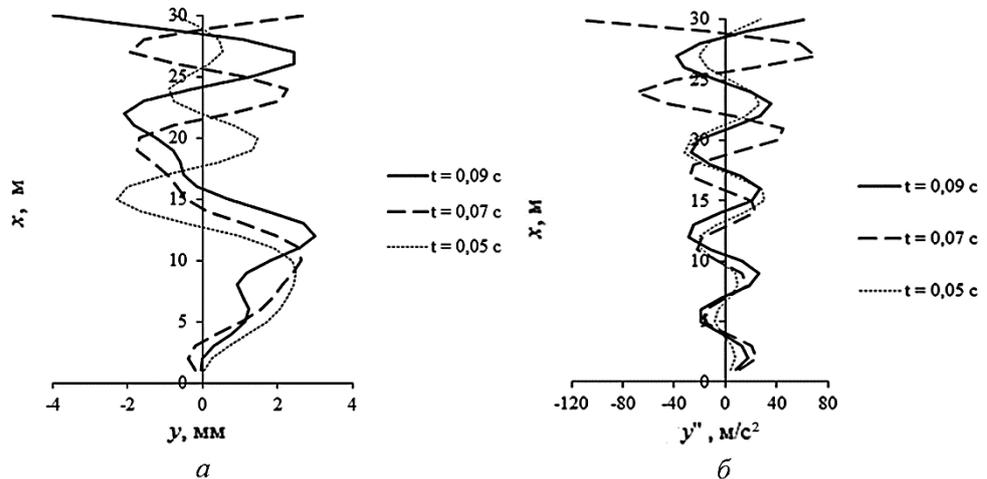


Рис. 3. Поперечное смещение  $y$  (а) и поперечное ускорение  $y''$  (б) ствола дерева в три последовательных момента времени после удара ( $h = 2$  м)

Если на некоторой высоте  $H$  от ствола отходит ветка, которая простирается вдоль оси  $y$ , то все смещения и ускорения ствола в точке  $x = H$  сохраняются и на этой ветке. Если ветка простирается перпендикулярно осям  $x$  и  $y$  (т. е. вдоль оси  $z$ ), то, чтобы определить колебание ветки вдоль оси  $y$ , необходимо решить задачу, аналогичную предыдущей, но вместо начальных условий у нее следующее требование: опора перемещается параллельно оси  $y$  по заданному закону  $g(t)$ . В данном случае  $g(t) = Y(H, t)$ , т. е. опора (или основание ветки) перемещается как и ствол дерева на высоте  $H$ .

Введем обозначения:  $z$  – расстояние от ствола дерева вдоль ветки (в предыдущей задаче  $x$ );  $U(z, t)$  – перемещение вдоль оси  $y$  точки ветки с координатой  $z$  (в предыдущей задаче  $Y(x, t)$ );  $l$  – длина ветки (в предыдущей задаче  $L$ );  $Z_i(z)$  – функции, описывающие форму прогибов (в предыдущей задаче  $X_i(x)$ );  $g(t) = Y''(H, t)$ ;  $b_i$  – частота  $i$ -й гармоники (в предыдущей задаче  $p_i$ ).

Искомое решение находим по следующей формуле:

$$U(z, t) = g(t) - \sum_{i=1}^{\infty} \left[ Z_i(z) \frac{\Psi_i}{b_i} \int_0^l g(t') \sin(b_i(t-t')) dt' \right], \quad (6)$$

где  $\Psi_i = \int_0^l Z_i dz / \left( \int_0^l Z_i^2 dz \right)$ .

На рис. 4 представлены расчетные поперечные смещения и ускорения ветки дерева при следующих исходных данных:  $E = 5 \cdot 10^9$  Па;  $\rho = 800$  кг/м<sup>3</sup>;  $L = 3$  м;  $r = 0,015$  м;  $H = 25$  м;  $i_{\max} = 10$ , а также изменение поперечного ускорения.

Из рис. 4 можно сделать следующие выводы:

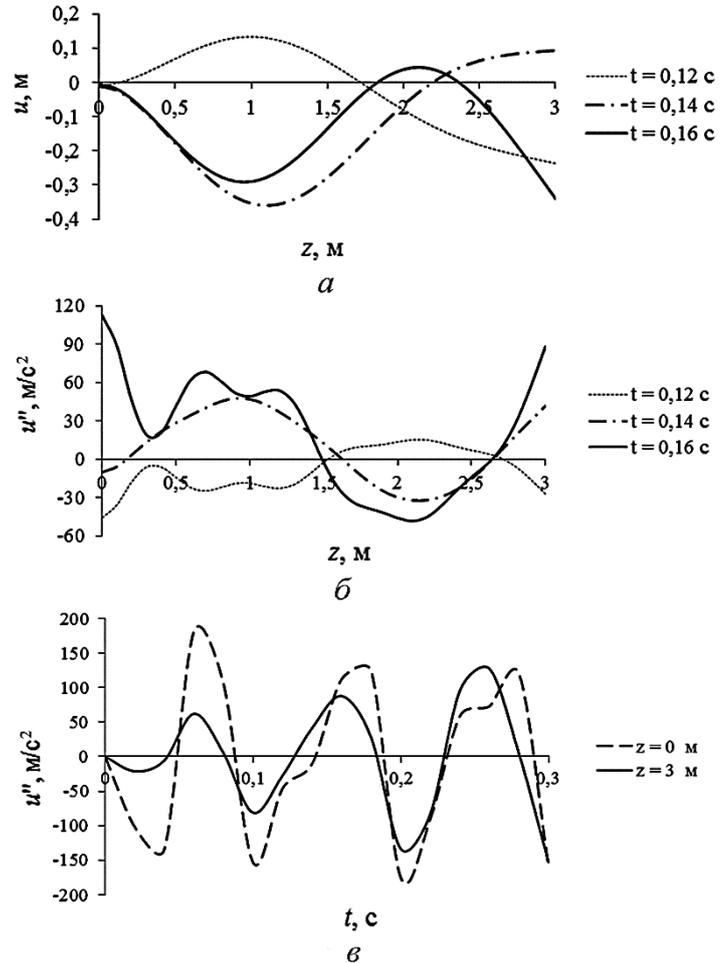
- поперечное ускорение ствола дерева прямо пропорционально начальной скорости  $V_0$ ;
- поперечное ускорение ветки не превышает ускорения ствола в месте крепления к нему ветки;
- поперечное смещение ствола дерева возрастает при увеличении высоты крепления устройства;
- поперечное ускорение ствола дерева при увеличении высоты крепления устройства и при неизменных прочих исходных параметрах, меняется незначительно;
- поперечное смещение ветки – максимально в ее конце и значительно больше, чем у основания.

Исходные данные для колебания ствола при этом оставались прежними.

При всех этих исходных данных первые три гармоники (с частотами  $b_i$ ) имеют периоды:  $T_1 = 0,429$  с;  $T_2 = 0,068$  с;  $T_3 = 0,024$  с.

По приведенным выше формулам определяется масса поршня и оценивается величина порохового заряда, обеспечивающие выполнение технологического процесса.

Рис. 4. Поперечное смещение  $u(z, t)$  (а) и поперечное ускорение ветки  $u''(z, t)$  на разном удалении от ствола  $z$  в три последовательных момента времени  $t$  и в зависимости от времени  $t$  (б) в двух разных точках на разном удалении  $z$  от ствола (в)



Средние сопротивления срыву шишек кедра, ели обыкновенной, сосны обыкновенной, лиственницы сибирской, европейской и японской составляют соответственно 2,45; 4,78; 2,50; 4,00; 3,27; 2,96 кг. Они зависят от температуры и влажности воздуха, возраста семенника, патологического состояния дерева и других факторов [3]. Усилия  $F_1$  от воздействия расчетного ускорения в кроне  $1137 \text{ м/с}^2$  на шишки массой  $0,19 \dots 0,03$  кг изменяются соответственно от 22,02 до 3,47 кг, что позволяет сделать предварительный вывод о применимости устройства для отряхивания шишек кедра, сосны, лиственницы европейской и японской.

Для эксперимента были использованы гусеницы сибирского шелкопряда, являющиеся одними из самых крупных среди хвое- и листогрызущих вредителей, дающих вспышки массового размножения. Средняя масса гусениц

младших возрастов составляет 0,15 г, старших – 3,2 г [5]. Усилие отрыва их от ветви зависит от множества факторов: температуры окружающего воздуха, состояния поверхности, физиологического состояния самой гусеницы, возраста и др. Среднее усилие ее сцепления с веткой дерева, по экспериментальным замерам авторов, изменяется в пределах от 3,6 г (у гусеницы младших возрастов) до 15...20 г (у спокойно питающейся гусеницы старших возрастов). Усилие отрыва гусениц для расчетного ускорения составляет 17,3...370,0 г, что значительно превышает усилие их сцепления с ветвями дерева даже в потревоженном состоянии. При проведении учетов гусениц для околата подбирают модельные деревья диаметром 16...23 см на высоте 1,3 м от поверхности почвы, что дает основание для проектирования уменьшенного по размерам и массе варианта устройства для учета гусениц при детальном надзоре.

Количество гусениц, отряхиваемых с модельного дерева на полог, рассчитывали по формуле

$$N = kn, \quad (7)$$

где  $k$  – поправочный коэффициент;

$n$  – количество опавших при отряхивании на полог гусениц, шт.

Количество опавших на полог гусениц может отличаться от среднего значения  $n$  на  $\pm \Delta n$ , поэтому расчетные значения заселенности модельного дерева могут отличаться от среднего на  $\pm \Delta N$ :

$$N \pm \Delta N = k(n \pm \Delta n). \quad (8)$$

Принимем  $N \geq n \geq n_{\min}$ , тогда среднее количество опавших на полог гусениц

$$n = \frac{N + n_{\min}}{2}, \quad (9)$$

коэффициент поправки с учетом (7)

$$k = \frac{2N}{N_1 n_{\min}}. \quad (10)$$

В худшем случае, когда количество опавших гусениц составляет  $n_{\min}$ , погрешность учета не должна превышать 30 %:

$$\frac{N - kn_{\min}}{N} \leq 0,3. \quad (11)$$

Подставляя значение  $k$  из (10) в (11), получим

$$\frac{n_{\min}}{N} \geq 0,54. \quad (12)$$

Выражение (12) означает, что, если отряхиватель обеспечит опад из кроны 54 % гусениц, то погрешность определения заселенности модельного дерева не превысит 30 %. Необходимо, чтобы практически все гусеницы отряхивались при первом импульсе, поскольку не упавшая от сотрясения кроны гусеница в 2 – 3 раза увеличивает усилие сцепления с ветками дерева. Околат деревьев колотом или прислонкой не позволяет выполнить данное условие, поэтому применение специального устройства для передачи дереву

ударного импульса заданной величины повышает точность учета заселенности деревьев гусеницами вредителей.

#### *Выводы*

1. Математическое моделирование процесса отряхивания гусениц и шишек с хвойных деревьев позволяет определить оптимальные параметры отряхивающего устройства, позволяющего выполнять технологический процесс с достаточной точностью.

2. Экспериментальные исследования подтвердили обоснованность конструктивных и технических параметров устройства.

3. Разработанный алгоритм расчетов позволяет выбрать массу поршня, величину порохового заряда и высоту установки устройства к стволу дерева от поверхности земли для древостоев различной полноты.

4. Экспериментальные исследования подтвердили отсутствие повреждений коры дерева при выполнении технологического процесса отряхивания.

5. Для отряхивания кедровых шишек с древостоев диаметром 20, 30 и 40 см следует применять пороховые заряды массой 8, 10 и 12 г, для больших диаметров можно использовать по 2 заряда массой 10 г. при загрузке внутренней полости поршня дополнительной массой порядка 5...8 кг.

6. Испытания показали целесообразность разработки двух конструктивных вариантов устройства:

для отряхивания гусениц при лесопатологических обследованиях лесов (массой менее 5 кг из современных конструктивных материалов);

для околата кедровых шишек (массой около 15 кг из обычной стали).

7. Применение устройства для околата кедровых шишек взамен вибратора позволяет снизить затраты на выполнение работ, исключить нарушение экологии и повреждение древостоев от передвижения трактора по лесу.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаевой А.И., Калабухов Н.П., Левашова Л.Е., Чепуренко В.Г. Справочник для поступающих в ВУЗы. «Наукова думка», Киев, 1969.

2. Дербердеев А.А. К вопросу о центре тяжести и моменте инерции дерева // Лесн. журн. 1966. № 6. С. 53–63. (Изв. высш. учеб. заведений).

3. Лавров И.А. Соппротивление шишек сосны, ели и лиственницы срыву // Исследование и совершенствование лесотранспортных машин. Л.: ЛТА, 1970. Вып. 125. С. 128 – 131.

4. Наставления по надзору, учету и прогнозу хвое- и листогрызущих насекомых в европейской части РСФСР. М., 1988. 84 с.

5. Рожков А.С. Сибирский шелкопряд. М.: АН СССР, 1963. 175 с.

6. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Универ У. Колебания в инженерном деле. М.: Машиностроение, 1985. 472 с.

Поступила 27.07.15

UDC 595.768.24.+630\*453.543.789  
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.69

### Calculation of Equipment for Shaking of Cones and Larvae off Conifer Trees

*S.N. Orlovskiy<sup>1</sup>, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

*S.A. Astapenko<sup>2</sup>, Candidate of Biological Sciences, Engineer and Forest Pathologist*

*S.V. Komissarov<sup>1</sup>, Senior Lecturer*

<sup>1</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira ave., 90, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; e-mail: orlovskiysergey@mail.ru

<sup>2</sup>Centre of Forest Health of Krasnoyarsk Region, Branch of the Russian Centre of Forest Health, Akademgorodok, 50 "A", Bl. 2, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation; e-mail: forest\_les@mail.ru

The problem of collecting valid comparative data during the detailed analysis of harmful needle and leaf eating insect pests and their numbers in tree crowns and cones is of the utmost importance. Our goal was to study the range of crown acceleration providing shaking of larvae and cones off the tree branches. We solved the problem of transverse displacement measuring and acceleration of tree trunks under the action of impulse coming from the cylinder performance when a piston flew out under the influence of the explosion of propellant powder. Methods of larvae at detailed monitoring and shaken off cones counting were analyzed. Design of equipment for shaking of cones and larvae off conifer trees constructed by the authors is described. The research program included the impact analysis of shaker design features, height of the point of application of force on a tree trunk, piston mass, volume of propellant powder and the tree characteristics. The research was conducted on the mathematical models and on the brassboard of the shaker in the natural conditions. The methods of operation are the mathematical modeling and experimental studies. The mathematical relationships to compute full kinetic energy of "tree – shaker" system, impulse forcing depending on the shaker design, piston mass and volume of propellant powder were derived. The theoretical background to calculate the shake parameters sufficient for shaking of larvae and cones off is presented. The equations of tree trunk and branches oscillations in different points were derived. Oscillation modes, transverse displacement and acceleration of a tree trunk and branches from the impulse power in dependence on the input data at different distances from the trunk at three sequential time intervals were determined. The efforts of Siberian moth larvae for retention on the tree branches at different development stages were determined experimentally in quiet and disturbed insects. The conclusions about the applicability of the device for shaking of larvae and cones off Siberian pine, Scotch pine, European and Japanese larch were made. The design parameters of a shaker and the effectiveness of its application can be justified by the obtained results.

*Keywords:* insect pest, monitoring, Siberian pine cone, shaking off, device, experiments, impulse, oscillation, amplitude, acceleration, parameters, tearaway force, applicability.

REFERENCES

1. Gaevoy A.I., Kalabukhov N.P., Levashova L.E., Chepureno V.G. *Spravochnik dlya postupayushchikh v vuzy* [A Guide for the Undergraduate Applicants]. Kiev, 1969.
2. Derberdeev A.A. K voprosu o tsentre tyazhesti i momente inertsii dereva [Revisiting the Center of Gravity and Moment of Inertia of the Tree]. *Lesnoy zhurnal*, 1966, no. 6, pp. 53–63.
3. Lavrov I.A. Soprotivlenie shishek sosny, eli i listvennitsy sryvu [Resistance of Pine Cones, Spruce and Larch to Dropping]. *Issledovanie i sovershenstvovanie lesotransportnykh mashin* [Research and Upgrading of Forestry Machines]. Leningrad, 1970, iss. 125, pp. 128–131.
4. *Nastavleniya po nadzoru, uchetu i prognozu khvoe- i listogryzushchikh nasekomykh v evropeyskoy chasti RSFSR* [Instructions on Supervision, Accounting and Forecast of Needle-Eating and Leaf-Eating Insects in the European Part of the RSFSR]. Moscow, 1988. 84 p.
5. Rozhkov A.S. *Sibirskiy shelkopryad* [Siberian Moth]. Moscow, 1963. 175 p.
6. Timoshenko S.P., Yang D.Kh., Univer U. *Kolebaniya v inzhenernom dele* [Oscillations in Engineering]. Moscow, 1985. 472 p.

Received on July 27, 2015

---

---