УДК 631.53.023

В.Н. Невзоров, В.Н. Холопов

РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СТРЯХИВАНИЯ КЕДРОВЫХ ШИШЕК

V.N. Nevzorov, V.N. Kholopov

THE DEVELOPMENT OF EQUIPMENT FOR SHAKING CEDAR CONES

Невзоров В.Н.– д-р с.-х. наук, проф., зав. каф. технологий, оборудования бродильных и пищевых производств Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: nevzorov1945@mail.ru

Холопов В.Н. – д-р техн. наук, проф. каф. автомобилей и транспортно-технологических машин Сибирского государственного университета науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск. E-mail: nevzorov1945@mail.ru

Nevzorov V.N. – Dr. Agr. Sci., Prof., Head, Chair of Technology, Equipment of Fermentative and Food Production, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: nevzorov1945@mail.ru

Kholopov V.N. – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Cars and Transport Technological Machines, Siberian State University of Science and Technologies named after M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk. E-mail: nevzorov1945@mail.ru

В статье приведены результаты теоретических исследований взаимодействия ударного бойка (колота) со стволом кедра с возможностью обеспечения сохранности на стволе коры, камбия и заболони. Теоретические исследования проводились с использованием математического моделирования ударного импульса бойком, регулируемого работой гидравлической системы. При моделировании ударного импульса бойка о дерево использовались основные параметры рабочего органа, к которым относились масса бойка, максимальная угловая скорость рукоятки в момент отключения гидроцилиндра, коэффициент восстановления эластичной подушки и радиус движения бойка, связанный с длиной рукоятки. По результатам решения составленных математических уравнений при различных углах отклонения рукоятки с ударным бойком были определены крутящий момент на рукояти, усилие на штоке гидроцилиндра и максимальный ход штока гидроцилиндра, что позволило оптимизировать параметры отряхивателя ударного типа. Разработаны предложения к выполнению технологического процесса стряхивания с растущего дерева оборудованием ударного типа с использованием гидравлической системы, которые являются новым перспективным направлением в механизации заготовки ореховых шишек. Разработанное оборудование с использованием гидравлической системы выполненно на уровне изобретения, авторские права защищены патентом РФ № 2497343.

Ключевые слова*: ресурсосберегающее оборудование, ствол кедра, ударный боек, гидравлическая система, изобретение, патент.*

The study presents the results of theoretical research of the interaction of the shock striker (stab) with the barrel of cedar with the possibility of preservation of bark cambium and sapwood on the trunk. Theoretical studies were conducted with using mathematical modeling of the shock pulse strikingly controlled by hydraulic system. When modeling the impact pulse of the striker on the tree, the main parameters of the working body were used, which included the mass of the striker, the maximum angular velocity of the handle at the time of disconnecting the hydraulic cylinder, the coefficient of recovery of elastic cushion and the radius of movement of the striker connected with long handle. According to the results of solving the mathematical equations at different angles of deflection of the handle with the shock striker, the torque on the handle, the force on the rod of the hydraulic cylinder and the maximum stroke of the rod of the hydraulic cylinder were determined, which allowed optimizing the parameters of the shock type. The proposals for the implementation of technological process of shaking off from a growing tree with shock-type equipment using a hydraulic system,

being a new promising direction in the mechanization of harvesting nut cones were developed. Developed equipment with using hydraulic system have been made at the level of the invention and copyrights are protected by the patent of the Russian Federation No 2497343[1].

***Keywords**: resource-saving equipment, cedar barrel, impact hammer, hydraulic system, invention, patent.*

Введение. Наиболее ресурсосберегающим на практике способом заготовки кедровых шишек является отряхивание (околачивание) шишек с помощью деревянного колота, изготавливаемого на месте сбора кедровых шишек. Он представляет собой кусок сырой древесины длиной 0,7–1,0 м, диаметром 0,25–0,35 м, закрепленный на одной или двух стойках, высотой 2,5–3,0 м, при массе устройства до 100 кг. Ударный импульс достигает величины 250 – 300 кг/с [1, 2].

Количество ударов колотом определяется его массой, урожаем, состоянием шишек и диаметром ствола дерева. При прямом касании колота с корой, камбием и заболонью происходит их разрушение и в местах поранения появляются сухобочины, что приводит к медленному усыханию ствола кедра.

Цель исследований. Разработка ресурсосберегающего оборудования для стряхивания кадровых шишек с использованием гидравлической системы привода рабочего органа.

Объект и методы исследования. Объектом исследования является технологический процесс стряхивания кедровых шишек с растущего дерева с использованием гидравлического привода ударного бойка с полным обеспечением сохранности наружного коркового слоя ствола. При разработке теоретических основ работы колота с гидравлическим приводом использовалось математическое моделирование ударного импульса с возможностью регулирования работы гидравлической системы. Для реализации цели исследования была разработана схема анализа работы устройства с возможностью нанесения периодических ударных воздействий на растущее дерево с использованием гидравлического привода ударного бойка, представленного на рисунке 1 [3, 4].

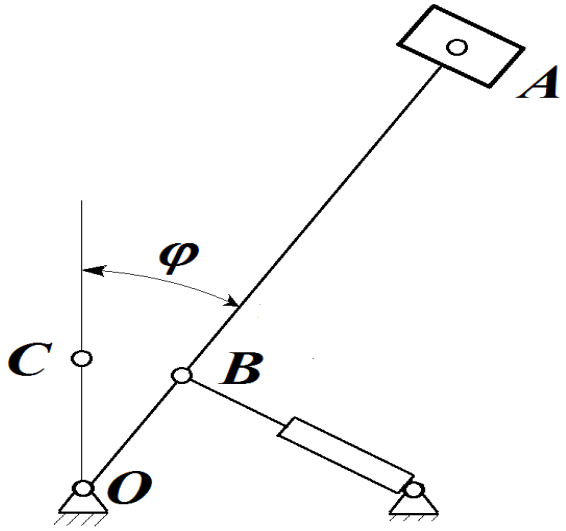

Рис. 1. Схема для анализа работы устройства

Ударный импульс бойка о дерево связан с параметрами устройства следующим уравнением:

$$S = m(1+k)\omega_{\max}R, \qquad (1)$$

где m – масса бойка; $\omega_{\max}$ – максимальная угловая скорость рукояти в момент отключения гидроцилиндра; k – коэффициент восстановления, поскольку удар бойка о дерево является упругим, при этом величина коэффициента зависит в том числе и от наличия на бойке эластичной подушки; R – радиус рукояти (расстояние OA от оси вращения рукояти до центра масс бойка).

Из уравнения (1) получаем

$$\omega_{\max} = \frac{S}{m(1+k)R}. \quad (2)$$

Поскольку начальная угловая скорость рукояти равна нулю, средняя угловая скорость рукояти определяется

$$\omega_{cp} = 0{,}5\omega_{\max}. \quad (3)$$

Имеем также

$$\omega_{cp} = \frac{\varphi}{t}, \quad (4)$$

где $\varphi -$ угол поворота рукояти; $t -$ время поворота рукояти.

Из уравнений (3) и (4) получим

$$t = \frac{\varphi}{\omega_{cp}} = \frac{2\varphi}{\omega_{\max}}. \quad (5)$$

Но

$$\varphi = \frac{\dot{\omega} t^2}{2}, \quad (6)$$

где $\dot{\omega} -$ угловое ускорение рукояти.

Из уравнений (2), (5) и (6) определим значение углового ускорения рукояти

$$\dot{\omega} = \frac{2\varphi}{t^2} = \frac{2\varphi\omega_{\max}^2}{4\varphi^2} = \frac{\omega_{\max}^2}{2\varphi} = \frac{S^2}{2\varphi m^2(1+k)^2 R^2}. \quad (7)$$

Определим теперь значение крутящего момента, который нужно приложить к рукояти с бойком для их разгона

$$M_p = J\dot{\omega}, \quad (8)$$

где $J -$ момент инерции системы боёк – рукоять при её повороте относительно точки O.

Но $J = mR^2$, тогда

$$M_p = mR^2\dot{\omega}. \quad (9)$$

Подставим в уравнение (9) значение углового ускорения из уравнения (7)

$$M_p = mR^2 \frac{S^2}{2\varphi m^2(1+k)^2 R^2} = \frac{S^2}{2\varphi m(1+k)^2}. \quad (10)$$

На рукоять действует момент от веса бойка, направленный в сторону, противоположную повороту рукояти. Этот момент находится:

$$M_G = mgR\cos(90^0 - \varphi) = mgR\sin\varphi, \quad (11)$$

где $g -$ ускорение свободного падения.

Таким образом, крутящий момент, который должен развить на рукояти гидроцилиндр, определяется суммой моментов, полученных уравнениями (9) и (10)

$$\sum M = M_p + M_G = \frac{S^2}{2\varphi m(1+k)^2} + mgR\sin\varphi. \quad (12)$$

Наибольший крутящий момент на рукояти в момент начала ее разгона может быть получен, если продольная ось гидроцилиндра перпендикулярна рукояти. В этом случае

$$Pl = \sum M = \frac{S^2}{2\varphi m(1+k)^2} + mgR\sin\varphi, \quad (13)$$

где $P -$ усилие, развиваемое гидроцилиндром; $l -$ расстояние OB от точки крепления штока гидроцилиндра к рукояти до оси её вращения.

$$P = \frac{1}{l}\left(\frac{S^2}{2\varphi m(1+k)^2} + mgR\sin\varphi\right). \quad (14)$$

Максимальный вылет штока гидроцилиндра при работе устройства определится расстоянием BC, которое является хордой между точками B и C при повороте рукояти от начального положения до вертикального. Таким образом, максимальный вылет штока гидроцилиндра определяется

$$h = 2l \sin \frac{\varphi}{2}. \qquad (15)$$

В ранее выполненных расчётах коэффициент восстановления при ударе бойка о дерево принимается равным 1,5. Для уменьшения повреждений дерева при ударе бойка желательно на бойке установить амортизирующую подушку, которая увеличила бы площадь контакта бойка о дерево и уменьшила возникающее удельное давление при их контакте. В этом случае коэффициент восстановления должен быть уменьшен, поэтому в нижеследующих расчётах примем коэффициент восстановления к=1,1. Поскольку колот будет приводиться в движение гидроцилиндром, примем ударный импульс S=350 кг/с, массу бойка 100 кг, радиус рукояти 3 метра, а расстояние от центра вращения рукояти до точки крепления штока гидроцилиндра к рукояти – 1 метр. Результаты расчета сведены в таблицу.

Результаты расчета

Максимальный угол отклонения рукояти φ	10°	15°	20°	25°	30°
Крутящий момент на рукояти, Нм $\sum M$	3413,6	2693,0	2455,4	2404,5	2437,2
Усилие на штоке гидроцилиндра, Н	3413,6	2693,0	2455,4	2404,5	2437,2
Максимальный ход штока гидроцилиндра, м	0,174	0,261	0,347	0,433	0,518

Из таблицы следует, что при принятых начальных параметрах отряхивателя минимальное усилие на штоке гидроцилиндра менее 2500 Н соответствует отклонению рукояти 20–25°, при этом вылет штока гидроцилиндра составит менее 45 сантиметров. Это говорит о том, что в таком отряхивателе возможно применение малогабаритных гидроцилиндров и гидросистемы с относительно малым давлением.

На основе проанализированной схемы ударного устройства с гидравлическим приводным механизмом было разработано новое оборудование для стряхивания кедровых шишек, представленное на рисунке 2 [5, 6].

На рисунке 3 представлена гидравлическая схема, обеспечивающая работу устройства для стряхивания кедровых шишек с деревьев.

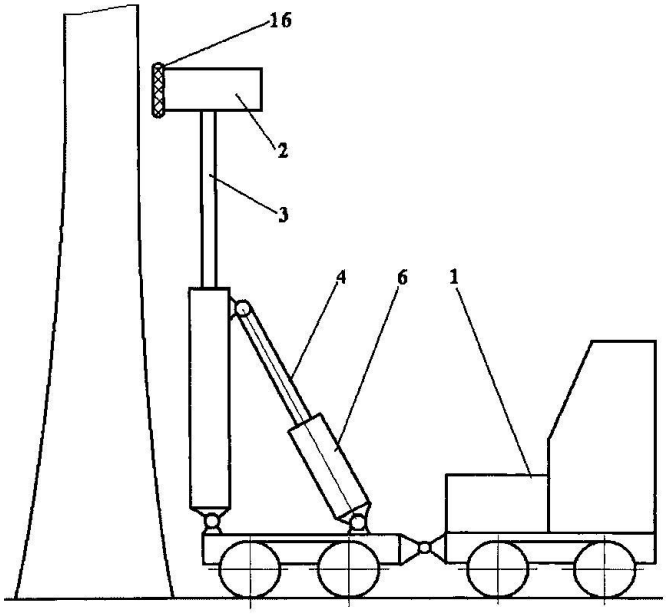

Рис. 2. Схема устройства для стряхивания кедровых шишек с деревьев

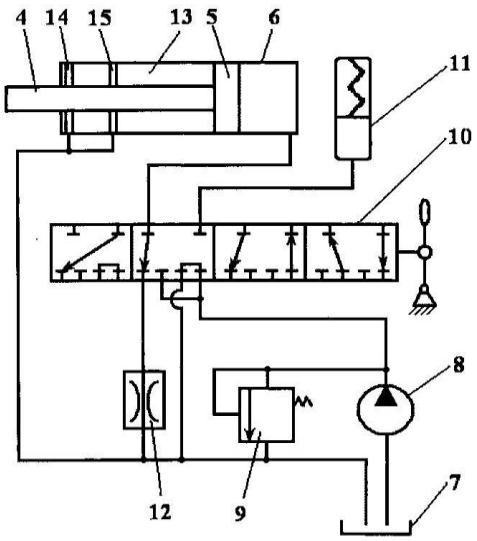

Рис. 3. Гидравлическая схема устройства

Устройство для стряхивания кедровых шишек с деревьев с гидравлическим приводным механизмом работает следующим образом. Транспортное средство *1* подходит к дереву. Шток *4* гидроцилиндра 6 вдвинут, телескопическая рукоять *3* с бойком *2* находится в крайнем нижнем положении. Боек *2* выдвигается из телескопической рукояти *3* и фиксируется в выдвинутом положении. Гидрораспределитель *10* находится в первом положении, гидроаккумулятор *11* через гидродроссель *12* связан с гидробаком *7*, гидронасос *8* работает на холостом режиме. Гидрораспределитель *10* переводится во вторую позицию, поршневая полость гидроцилиндра *6* соединяется через гидродроссель *12* с гидробаком *7*, гидронасос *8*, соединенный гидравлически с гидробаком *7*, продолжает работать без нагрузки. При переводе гидрораспределителя *10* в третью позицию гидронасос *8* соединяется с гидроаккумулятором *11*, происходит его зарядка, а поршневая полость гидроцилиндр *6* соединена через гидродроссель *12* с гидробаком *7*. При переводе гидрораспределителя *10* в четвертую позицию гидронасос *8* вместе с гидроаккумулятором *11* подают рабочую жидкость в поршневую полость гидроцилиндра *6*, поршень *5* которого выдвигает шток *4*, который поворачивает рукоять *3* и разгоняет боек *2*. Когда нижняя кромка поршня пересечет проточку *15*, гидронасос *8* гидравлически связывается с гидробаком *7*. Дальнейшее движение бойка *2* происходит по инерции. Боек *2* через эластичную подушку *16* ударяет по дереву, происходит отряхивание шишек. После удара боек *2* отскакивает от дерева, поршень *5* гидроцилиндра *6* при движении вниз частично перекрывает нижней кромкой проточку *15*, в поршневой полости гидроцилиндра *6* повышается давление, и поршень *5* с бойком *2* остаются в верхнем положении. Проточка *14* гидроцилиндра *6* обеспечивает дренаж его штоковой полости *13*. Поскольку расстояние между проточками *14* и *15* больше ширины поршня *5*, исключается одновременное перекрытие этих проточек поршнем *5*. При переводе гидрораспределителя в третью позицию поршневая полость гидроцилиндра *6* соединяется через гидродроссель *12* с гидробаком *7*, а гидронасос *8* соединяется с гидроаккумулятором *11*. Рукоять *3* вместе с бойком *2* плавно опускаются вниз, а гидроаккумулятор *11* заряжается. Установка гидрораспределителя *10* вновь в четвертую позицию приводит к очередному удару бойка *2* через эластичную подушку *16* по дереву. Происходит отряхивание спелых шишек. По окончании отряхивания гидрораспределитель *10* переводится во вторую позицию. Рукоять *3* вместе с бойком *2* плавно опускается вниз, гидронасос *8* переводится в работу без нагрузки. Перевод гидрораспределителя *10* в первую позицию приводит к гидравлическому соединению гидронасоса *8* с гидробаком *7*, а гидроаккумулятора *11* через гидродроссель *12* с гидробаком *7*. Происходит плавная разрядка гидроаккумулятора *11*. Поршневая полость гидроцилиндра *6* гидравлически изолирована и от гидронасоса *8*, и от гидробака *7*, поршень *5* гидравлически замкнут, перемещение рукояти *3* с бойком *2* исключено, транспортное средство *1* может перемещаться к другому дереву. По окончании работы боек *2* вдвигается и фиксиру-

ется во вдвинутом положении, при этом габаритные размеры транспортного средства *1* с устройством для отряхивания шишек минимальны.

Выполненные теоретические и проектно-конструкторские исследования по процессам отряхивания кедровых шишек с растущего дерева позволили сформировать основные требования к новой конструкции оборудования для отряхивания с использованием гидравлической системы, которая позволила исключить использование ручного труда и обеспечить сохранность защитного коркового слоя дерева от повреждений.

Выводы

1. Для практической реализации и изготовления оборудования для стряхивания кедровых шишек с растущего дерева рекомендуется использовать конструкцию устройства по патенту РФ № 2497343.

2. Вследствие малых усилий, развиваемых гидроцилиндром, и малого его рабочего объёма (при давлении в гидросистеме 5 МПа, развиваемом усилии 2500 Н и ходе штока 450 мм рабочий объём гидроцилиндра составит менее 150 см^3) в качестве гидравлического насоса возможно использование в устройстве электрогидронасоса усилителя рулевого управления автомобиля.

3. Вследствие небольшого веса устройства и малых его габаритов в транс-портном положении (рукоять в этом случае выполняется телескопической) и при использовании электрогидронасоса устройство рекомендовать устанавливать на малогабаритном транспортном средстве, способном перемещаться в условиях кедровых насаждений.

Литература

1. *Невзоров В.Н.* Техника и технология заготовки кедрового ореха. – Красноярск: КГТА, 1996. – 114 с.
2. *Шевелев С.Л.* Ресурсы лекарственных и пищевых растений в кедровниках юга Красноярского края и Хакасии // Тр. первой Всерос. конф. по ботаническому ресурсоведению. – СПб., 1996. – С. 62–63.
3. *Шевелев С.Л., Невзоров В.Н.* Основные пищевые и лекарственные ресурсы лесов Средней Сибири. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2017. – 173 с.
4. Патент №2497343 России, МПК A01D 46/26 (2006.01). Устройство для стряхивания кедровых шишек с деревьев / *Холопов В.Н., Голубев И.В., Невзоров В.Н., Самойлов В.А.*; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «СибГТУ». – № 2012122291/13; заявл. 29.05.2012; Опубл. 10.11.2013, Бюл. № 31.
5. *Анурьев В.И.* Справочник конструктора машиностроителя: в 3 т. Т.1 / под ред. *И.Н. Жестковой.* – 8-е изд., перераб. и под. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.
6. *Невзоров В.Н.*, *Холопов В.Н.* Недревесные ресурсы Сибири (технические решения оборудования для заготовки, транспортировки и переработки). – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2014. – 215 с.

Literatura

1. *Nevzorov V.N.* Tehnika i tehnologija zagotovki kedrovogo oreha. – Krasnojarsk: KGTA, 1996. – 114 s.
2. *Shevelev S.L.* Resursy lekarstvennyh i pishhevyh rastenij v kedrovnikah juga Krasnojarskogo kraja i Hakasii // Tr. pervoj Vseros. konf. po botanicheskomu resursovedeniju. – SPb., 1996. – S. 62–63.
3. *Shevelev S.L., Nevzorov V.N.* Osnovnye pishhevye i lekarstvennye resursy lesov Srednej Sibiri. – Krasnojarsk: Izd-vo KrasGAU, 2017. – 173 s.
4. Patent №2497343 Rossii, MPK A01D 46/26 (2006.01). Ustrojstvo dlja strjahivanija kedrovyh shishek s derev'ev / *Holopov V.N., Golubev I.V., Nevzorov V.N., Samojlov V.A.*; zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «SibGTU». – № 2012122291/13; zajavl. 29.05.2012; Opubl. 10.11.2013, Bjul. № 31.
5. *Anur'ev V.I.* Spravochnik konstruktora mashinostroitelja: v 3 t. T.1 / pod red. *I.N. Zhestkovoj.* – 8-e izd., pererab. i pod. – M.: Mashinostroenie, 2001. – 920 s.
6. *Nevzorov V.N., Holopov V.N.* Nedrevesnye resursy Sibiri (tehnicheskie reshenija oborudovanija dlja zagotovki, transportirovki i pererabotki). – Krasnojarsk: Izd-vo KrasGAU, 2014. – 215 s.