

3. Burmistrova O.N., Korol S.A. *Opređenje optimal'nyh skorostej dvizhenija lesovoznyh avto-poezdov iz uslovija minimizacii rashoda topliva* [Determination of optimal speeds logging trucks from the condition of minimizing fuel consumption]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa Lesnoj vestnik* [Herald of Moscow State Forest University Forest Gazette]. 2013, no. 1 (93), pp. 25-28. (In Russian).
4. Setinc, Marko; Gradisar, Mirko; Tomat, Luka Optimization of a highway project planning using a modified genetic algorithm. *Optimization*, 2015, Vol. 64, Issue 3, pp. 687-707.
5. Janssen, Thomas Design and construction in existing contexts: Replacement of the first High Bridge Levensau. *Janssen Thomasstahlbau*, 2015, Vol. 84, Issue 3, pp. 182-194.
6. Hare, Warren; Lucet, Yves; Rahman, Faisal A mixed-integer linear programming model to optimize the vertical alignment considering blocks and side-slopes in road construction. *European journal of operational research*, 2015, Vol. 241, Issue 3, pp. 631-641.
7. Santos, Joao; Ferreira, Adelino; Flintsch, Gerardo A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework. *International journal of pavement engineering*, 2015, Vol. 16, Issue 3, pp. 268-286.
8. Liyanage, Champika; Villalba-Romero, Felix Measuring Success of PPP Transport Projects: A Cross-Case Analysis of Toll Roads. *Transport reviews*, 2015, Vol. 35, Issue 2, Special Issue: SI, pp. 140-161.
9. Setinc, Marko; Gradisar, Mirko; Tomat, Luka Optimization of a highway project planning using a modified genetic algorithm. *Optimization*, 2015, Vol. 64, Issue 3, pp. 687-707.
10. Burdett R.; Kozan E.; Kenley R. Block models for improved earthwork allocation planning in linear infrastructure construction. *Engineering optimization*, 2015, Vol. 47, Issue 3, pp. 347-369.

Сведения об авторах

Сушков Сергей Иванович – заведующий кафедрой промышленного транспорта, строительства и геодезии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор технических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация, e-mail: S.I.Sushkov@mail.ru.

Пильник Юлия Николаевна – старший преподаватель ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», кандидат технических наук, г. Ухта, Российская Федерация, e-mail: ypilnik@mail.ru.

Information about authors

Sushkov Sergey Ivanovich – Head of the Department of Industrial Transport, Civil Engineering and Geodesy, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», DSc in Engineering, Professor, Voronezh, Russian Federation, e-mail: SISushkov@mail.ru.

Pilnik Yulia Nikolaevna – Senior Lecturer, Federal State Budget Education Institution of Higher Professional Education «Ukhta State Technical University», PhD in Engineering, Ukhta, Russian Federation, e-mail: ypilnik@mail.ru.

DOI: 10.12737/19963

УДК 630*323.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГИБА СТРЕЛЫ ХЛЫСТА

кандидат технических наук, доцент **А. А. Ушницкий**¹

М. Ф. Григорьев¹

1 – ФГБОУ ВО «Якутская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Якутск, Российская Федерация

Известно, что вертикальная нагрузка на трелевочный трактор зависит от размерных характеристик трелеваемых хлыстов и равняется весу прогнувшейся части хлыста от комлевого среза до точки отрыва от поверхности земли и изгибающего момента. Для определения веса погруженной части учитывается распределение массы по длине хлыста, плотность древесины, модуль упругости и силы трения хлыстов в пачке. Для упрощения расчет производился при сле-

дующих допущениях: образующую стволов принимаем как образующую тела вращения (усеченный конус); плотность древесины равномерна по объему той части хлыста, которая рассматривается в данный момент. Большинство задач о прогибе стрелы хлыста решают с помощью теоремы Кастилиано: частная производная от потенциальной энергии системы равна перемещению точки приложения силы по направлению действия этой силы. Альтернативное простое решение можно получить, используя универсальное дифференциальное уравнение упругой линии. Представим хлыст как плоскую балку с распределенной массой, в которой выделим часть, эквивалентную объему цилиндра с диаметром, равным диаметру вершины. Отсеченная цилиндром обзольная часть будет показывать изменение массы и диаметра по длине хлыста с обеих сторон. Полученные выражения позволяют определять прогиб хлыста по его длине без учета анизотропности древесины и могут быть использованы при определении коэффициента распределения нагрузки между трактором и волоком при трелевке хлыстов в полупогруженном положении.

Ключевые слова: модуль упругости, прогиб, хлыст, оптимизация.

DETERMINATION OF FLEXURE ARROW A FELLED TREE

PhD in Engineering, Associate Professor **A. A. Ushnitsky**¹

M. F. Grigoriev¹

1 – Federal State Budgetary Education Institution of Higher Education «Yakutsk State Agricultural Academy», Yakutsk, Russian Federation

Abstract

It is known that the vertical load on the skidder including depends on the size characteristics hauling felled trees. In this case vertical load on the tractor is equal to the weight having caved in portion trees portion by the lower part of the tree cutaway to the point of lifted from the ground surface and bending moment. For a determination of the weight the immersed portion is accounted distribution of mass along the length of felled trees wood density, modulus of elasticity and the friction force in felled trees the bundle. To simplify the calculation was performed at the following assumptions: a generator trunks accept how to defining body of revolution (truncated cone); wood density is uniform over the volume of that part of felled trees which is seen currently. In most the tasks a trough arrow felled trees solve using Castigliano's theorem: where the partial derivative of the potential energy system is equal force of moving the point of application of force in the direction of this force. An alternative simple solution can be obtained using a universal differential equation of the elastic line. We represent the felled trees how a planar girder with distributed massin which distinguish the equivalent part of the volume of the cylinder with a diameter an equal to the diameter of the top. Ed off by of cylinder, made of lumber forest part will indicate change in mass and diameter along the length of the felled trees on both sides. The obtained expressions allow us to determine the deflection of the felled trees along its length, excluding the anisotropy of wood, and can be used in determining the load distribution coefficient load distribution between the tractor and portage skidding of stems in half submerged position.

Keywords: modulus of elasticity, deflection, felled trees, optimization.

При трелевке хлыстов в полупогруженном положении существуют ограничения к транспортной системе по вертикальной нагрузке и по величине реализуемого тягового усилия. Вертикальная нагрузка характеризуется коэффициентом распределения нагрузки k , зависящим от высоты подъема груза, размерных и упругих характеристик хлыстов, и представляет собой отношение веса прогнувшейся части хлыста от комлевого среза до точки отрыва от поверхности земли и изгибающего момента. Получаем, что при теоретическом обосновании коэффициента распределения на-

грузки необходимо учитывать прогиб хлыста.

Проведенный анализ [1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12] свидетельствует о том, что в большинстве задач, с которыми приходится сталкиваться на практике, задачу о прогибе стрелы хлыста решают с помощью теоремы Кастилиано: частная производная от потенциальной энергии системы по силе равна перемещению точки приложения силы по направлению действия этой силы [7, 8]. Однако наиболее простое решение можно получить, используя универсальное дифференциальное уравнение упругой линии. Представим хлыст как пло-

скую балку с распределенной массой, в которой выделим часть, эквивалентную объему цилиндра с диаметром, равным диаметру вершины. Отсеченная цилиндром обзольная часть будет показывать изменение массы и диаметра по длине хлыста.

Из расчетной схемы имеем (рис.):

$$M_B = R_A l - Q_1 \frac{1}{2} - Q_2 \frac{1}{3};$$

$$R_A = \frac{l(3Q_1 + 2Q_2)}{6};$$

$$Q_1 = q_1 l; \quad Q_2 = \frac{1}{2} q_3 l; \quad (2)$$

$$q_1 = g p \frac{\pi d_B^2}{4}; \quad q_3 = q_2 - q_1 =$$

$$\frac{g p \pi (d_k^2 + d_k d_B - 2d_B^2)}{6}, \quad (3)$$

где l – длина хлыста, м;

q_1, q_2, q_3 – распределенная нагрузка, Н/м;

p – плотность древесины, кг/м³;

d_k и d_B – соответственно комлевой и вершинный диаметры, м;

Q_1 и Q_2 – сила тяжести соответственно цилиндрической и обзольной части хлыста, Н;

g – ускорение свободного падения, м/с².

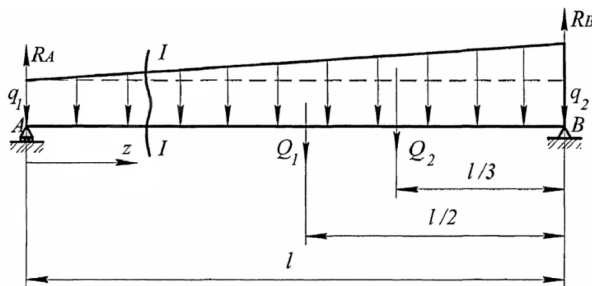


Рисунок. Расчетная схема прогиба хлыста

Составим дифференциальное уравнение упругой линии:

$$M_z = EIY'' = R_A z - q_1 \frac{z^2}{2} -$$

$$\frac{1}{2} q_3 z \frac{1}{3} z = R_A z - q_1 \frac{z^2}{2} - \frac{q_3 z^3}{6l}; \quad (4)$$

$$q_z = \frac{q_3 z}{l}; \quad (5)$$

где z – текущая координата сечения, м;

E – модуль упругости древесины, Н/м²;

I – момент инерции сечения, м⁴.

Момент инерции сечения для вершинной

части определяется выражением:

$$I = \frac{\pi d_z^4}{64}; \quad (6)$$

Последовательно выполняя интегрирование уравнения (4), получаем:

$$EIY' = EI\theta = R_A \frac{z^2}{2} - q_1 \frac{z^3}{6} - q_3 \frac{z^4}{24l} + EIY_0; \quad (7)$$

$$EIY = R_A \frac{z^3}{6} - q_1 \frac{z^4}{24} - q_3 \frac{z^5}{120l} + EI\theta_0 z + EIY_0, \quad (8)$$

где θ – угол поворота сечения.

$EI\theta_0$ и EIY_0 – постоянные интегрирования.

Постоянные интегрирования определяем из условия равенства нулю прогибов в точках A и B .

При $z = 0 Y_A = 0$ а при $z = l Y_B = 0$, т. е.:

$$EIY_0 = 0$$

$$EI\theta_0 = \frac{64(q_1 \frac{l^3}{24} + q_3 \frac{l^3}{120} - R_A \frac{l^2}{6})}{\pi d_k^4}. \quad (9)$$

Очевидно, что в точке максимального прогиба угол поворота сечения θ будет равен нулю, следовательно:

$$R_A \frac{z^2}{2} - q_1 \frac{z^3}{6} - q_3 \frac{z^4}{24l} = -EI\theta_0. \quad (10)$$

Решая данное уравнение численными методами, можно получить значение текущей координаты сечения максимального прогиба.

Для нахождения деформации хлыста используем ранее выведенное выражение (8), решая которое относительно Y , получим выражение для определения прогиба по длине хлыста:

$$Y = \frac{R_A \frac{z^3}{6} - q_1 \frac{z^4}{24} - q_3 \frac{z^5}{120l} + EI\theta_0 z}{EI}. \quad (11)$$

Полученные выражения позволяют определять прогиб хлыста по его длине без учета анизотропности древесины и могут быть использованы при определении коэффициента распределения нагрузки между трактором и волоком при трелевке хлыстов в полупогруженном положении. Практическая значимость заключается в использовании полученных выражений при проектировании трелевочных систем для определения высоты расположения технологического оборудования для трелевки хлыстов, обоснования конструктивных параметров многопильных раскряжевочных установок во избежание заклинивания пильных дисков и т. п.

Библиографический список

1. Комаров, М.С. Динамика механизмов и машин [Текст] / М. С. Комаров. – М. : Машиностроение, 1969. – 295 с.
2. Лозовой, В.А. Исследование динамических характеристик хлыстов и деревьев [Текст] / В.А. Лозовой, Ю. И. Верхов // Надежность и долговечность строительных машин. - Красноярск : КПТИ, 1975. – Вып. 2. – 89 с.
3. Лозовой, В.А. К определению жесткости одиночных крупномерных хлыстов [Текст] / В. А. Лозовой ; Сиб. технол. ин-т. - Красноярск, 1977. – 11 с.
4. Лозовой, В.А. Особенности расчета собственных частот колебаний одиночных крупномерных хлыстов [Текст] / В. А. Лозовой ; Сиб. технол. ин-т. – Красноярск, 1977. – 10 с.
5. Лозовой, В.А. Расчеты лесозаготовительного оборудования с учетом колебаний : учебное пособие [Текст] / В. А. Лозовой. – Красноярск : СибГТУ, 1999. – 135 с.
6. Лозовой, В.А. Теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия хлыстов с лесными машинами [Текст] : автореф. ... канд. техн. наук / В. А. Лозовой. – М., 1982. – 18 с.
7. Терегулов, И.Г. Сопротивление материалов и основы теории упругости и пластичности [Текст] / И.Г. Терегулов. – М. : Высш. шк., 1984. – 472 с.
8. Ушницкий, А.А. Обоснование параметров малогабаритной тягово-транспортной машины для рубок промежуточного пользования [Текст]: диссер. канд. техн. наук / А.А. Ушницкий. – Красноярск, 2006. – 172 с.
9. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов [Текст] / В.И. Феодосьев. – М.: Наука, 1986. – 512 с.
10. Bergstrom, D. Effect of Forest Structure on Operational Efficiency of a Bundle-Harvester System in Early Thinnings [Text] / D. Bergstrom, F.D. Fulvio, Y. Nuutinen // Croatian Journal of Forest Engineering. – 2015. – Vol. 37. – No.1. – Pp. 37-49.
11. Labelle, E.R. Quanting the Use of Brush Mats in Reducing Forwarder Peak Loads and Surface Contact Pressures [Text] / E.R. Labelle, D. Jaeger // Croatian Journal of Forest Engineering. – 2012. – Vol. 33. – No. 2. – Pp. 249-274.
12. Labelle, E.R. Assessing the Ability of Hardwood and Softwood Brush Mats to Distribute Applied Loads [Text] / E.R. Labelle, D. Jaeger, B.J. Poltorak // Croatian Journal of Forest Engineering. – 2015. – Vol. 36. – No. 2. – Pp. 227-242.

References

1. Komarov M.S. *Dinamika mekhanizmov i mashin* [Dynamics of machines and mechanisms]. Moscow, 1969, 295 p. (In Russian).
2. Lozovoy V.A., VerkhovYu. I. *Issledovanie dinamicheskikh kharakteristik khlystov i derev'ev* [Research of dynamic characteristics of stems and trees] *Nadezhnost' i dolgovechnost' stroitel'nykh mashin* [Reliability and durability of construction machines]. Krasnoyarsk, 1975, no. 2, 89 p. (In Russian).
3. Lozovoy V.A. *K opredeleniyu zhestkosti odinochnykh krupnomernykh khlystov* [For the definition of the stiffness of single of large size felled trees]. Krasnoyarsk, 1977, 11 p. (In Russian).
4. Lozovoy V.A. *Osobennosti rascheta sobstvennykh chastot kolebaniy odinochnykh krupnomernykh khlystov* [Peculiarities of calculating the natural frequencies of oscillations of single of large size felled trees]. Krasnoyarsk, 1977, 10 p. (In Russian).
5. Lozovoy V.A. *Raschety lesozagotovitel'nogo oborudovaniya s uchetom kolebaniy* [Calculations of forestry equipment considering oscillations]. Krasnoyarsk, 1999, 135 p. (In Russian).
6. Lozovoy V.A. *Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya vzaimodeystviya khlystov s lesnymi mashinami* avtoref. kand. tehn. nauk [Theoretical and experimental studies of the interaction felled trees with forest machines. Phd. in Engineering. diss.]. Moscow, 1982, 18 p. (In Russian).
7. Teregulov I.G. *Soprotivlenie materialov i osnovy teorii uprugosti i plastichnosti* [Resistance of materials and the basic theory of elasticity and plasticity]. Moscow, 1984, 472 p. (In Russian).

8. Ushnitskiy A.A. *Obosnovanie parametrov malogabaritnoy tyagovo-transportnoy mashiny dlya rubok promezhutochnogo pol'zovaniya* disser. kand. tehn. nauk [Justification of parameters of small-sized trailer transport machine for intermediate felling. Dr. technical. sci. diss.]. Krasnoyarsk, 2006, 172 p. (In Russian).
9. Feodosev V.I. *Soprotivlenie materialov* [Resistance of materials]. Moscow, 1986, 512 p. (In Russian).
10. Bergstrom D., Fulvio F.D., Nuutinen Y. Effect of Forest Structure on Operational Efficiency of a Bundle-Harvester System in Early Thinnings. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2015, Vol. 37, no. 1, pp. 37-49.
11. Labelle E.R., Jaeger D. Quanting the Use of Brush Mats in Reducing Forwarder Peak Loads and Surface Contact Pressures. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2012, Vol. 33, no. 2, pp. 249-274.
12. Labelle E.R., Jaeger D., Poltorak B.J. Assessing the Ability of Hardwood and Softwood Brush Mats to Distribute Applied Loads. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2015, Vol. 36, no. 2, pp. 227-242.

Сведения об авторах

Ушницкий Александр Алексеевич – доцент кафедры природообустройства ФГБОУ ВО «Якутская государственная сельскохозяйственная академия», кандидат технических наук, доцент, г. Якутск, Российской Федерации; email: docalexus@mail.ru

Григорьев Михаил Федосеевич – старший преподаватель кафедры природообустройства ФГБОУ ВО «Якутская государственная сельскохозяйственная академия», г. Якутск, Российской Федерации; email: grig_mf@mail.ru

Information about authors

Ushnitsky Alexandr Alekseevich – Associate Professor of «Environmental Engineering» department, Federal State Budgetary Education Institution of Higher Education «Yakutsk State Agricultural Academy», Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Yakutsk, Russian Federation; e-mail: docalexus@mail.ru

Grigoriev Mikhail Fedoseevich – Senior Lecturer of «Environmental Engineering» department, Federal State Budgetary Education Institution of Higher Education «Yakutsk State Agricultural Academy», Yakutsk, Russian Federation; e-mail: grig_mf@mail.ru

DOI: 10.12737/19964

УДК 630*

ПОВЫШЕНИЕ ВЫХОДА ДЕЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ ИЗ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ С ВНУТРЕННЕЙ ГНИЛЬЮ

И. С. Фролов

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

В статье представлены сведения, посвященные методам раскряжевки древесины с сердцевинной гнилью. Предложено использовать в качестве дефектоскопа модернизированную рентгеновскую установку на основе досмотрового рентгена проходного типа, а также в паре с ним 3D сканера. В статье приводятся схемы раскряжевки хлыстов с сердцевинной гнилью для различных предприятий в зависимости от объема и типа производимой продукции. Используются окоренные или неокоренные хлысты в зависимости от технологической цепочки производства. Если производство нацелено на производство окоренного пиловочника, пиломатериалов, а также технологической щепы, то предлагается использовать первую технологическую цепочку. Хлысты окариваются, производится дефектоскопия и сканирование. Далее ведется сортировка на деловые хлысты и низкокачественную древесину. Производится раскряжевка по сортиментному плану деловых хлыстов, низкокачественные хлысты раскряжевываются на длины от 1 до 1,5 м и далее на линию производства щепы. Далее окоренные сортименты идут на производство пиломатериала.