

Д.М. Ласточкин, Ю.Н. Сидыганов, В.И. Кретинин, И.Н. Багаутдинов

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВИБРОПРИВОДА ЗАХВАТНО-СРЕЗАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Введение. Поиск новых подходов и технических решений в области лесозаготовительного оборудования является неотъемлемой частью устойчивого развития любой промышленности, в том числе и лесозаготовительной.

Научными коллективами постоянно предлагаются и обосновываются новые технические решения по совершенствованию технологического оборудования для лесозаготовок [Александров, 2000; Сидыганов и др., 2008; Онучин и др., 2012; Ширнин и др., 2014]. В большинстве своем они направлены на совершенствование существующих технологий и конструкций, для оптимизации работы и повышения экологичности технологических операций.

Среди направлений поискового научного исследования отдельно можно выделить разработку лесозаготовительного оборудования на основе использования известных физических явлений, которые ранее не применялись в данной области. Одним из таких направлений является применение принципа динамического удержания обратного маятника на осциллирующем подвесе. [Емельянова и др., 2021]. Данный физический принцип можно использовать для стабилизации дерева в вертикальном положении, удерживаемого малогабаритным колесным трактором при действии на него возмущающих сил.

Анализ работ, посвященных удержанию дерева в вертикальном положении, позволяет утверждать, что динамическое удержание дерева в вертикальном положении за счет вертикально осциллирующего подвеса ранее не применялось [Александров и др., 2016; Александров и др., 2015; Жуков и др., 1997; Ласточкин и др., 2013; Lastochkin et al., 2017]. Самые близкие исследования по удержанию дерева в вертикальном положении и выносу его из лесосеки ходом колесного трактора рассматривали стабилизацию дерева только за счет массогабаритных параметров трактора или за счет использования системы автоматической стабилизации, компенсирующих возмущающие воздействия [Жуков и др., 1997; Ласточкин и др., 2013; Lastochkin et al., 2017].

Целью работы является исследование движения элементов вибропривода захватно-срезающего устройства, обеспечивающего динамическое удержание вертикального дерева.

Материалы и методика исследования. Для удержания дерева в вертикальном положении при помощи эффекта динамической стабилизации была предложена конструкция захватно-срезающего устройства (ЗСУ) с механизмом вибрации (вибропривод). Вибропривод преобразовывает вращательное движение движителя (например, гидромотора) через кулису и тягу в поступательное движение стрелы и ЗСУ с деревом. Общий вид ЗСУ с виброприводом представлен на рис. 1 [Патент 2023111991 РФ, 2023].

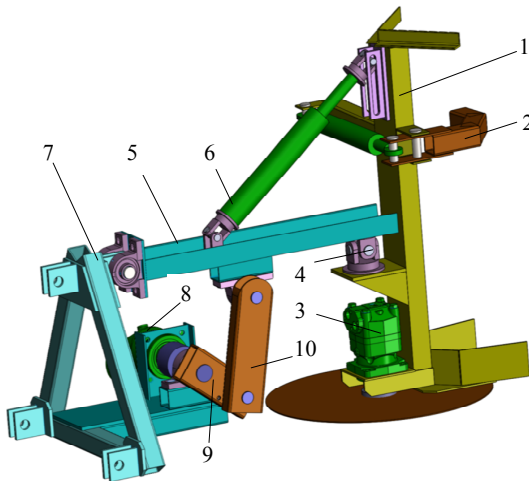


Рис. 1. Общий вид ЗСУ с виброприводом:

- 1 – стойка; 2 – механизм зажима дерева; 3 – механизм срезания;
4 – карданный шарнир соединения стойки со стрелой; 5 – стрела; 6 – гидроцилиндр отклонения стойки; 7 – подрамник; 8 – гидромотор; 9 – кулиса; 10 – тяга

Fig. 1. General view of the ZSU with a vibration drive:

- 1 – rack; 2 – tree clamping mechanism; 3 – cutting mechanism; 4 – gimbal joint of the rack with an arrow; 5 – boom; 6 – hydraulic cylinder of the rack deflection; 7 – subframe; 8 – hydraulic motor; 9 – backstage; 10 – thrust

ЗСУ с виброприводом работает следующим образом. Базовый трактор подводит установленное на нем при помощи подрамника 7 ЗСУ к нужному дереву, механизмом зажима 2 фиксирует дерево у стойки 1 с одновременным

срезанием его механизмом срезания 3, далее дерево транспортируется ходом трактора в вертикальном положении до места укладки, где оно пакетируется на землю раскрытием механизма зажима 2 и действия гидроцилиндра отклонения стойки 6. Сохранение устойчивости трактора с удерживаемым в вертикальном положении деревом происходит за счет применения эффекта динамической стабилизации перевернутого маятника на осциллирующем подвесе, создаваемого при помощи возвратно-поступательного движения стрелы посредством тяги 10, соединенной с кулисой 9, вращаемой гидромотором 8.

В процессе удержания дерева в вертикальном положении при помощи динамической стабилизации, вибропривод создает достаточно быстрые колебания, в результате которых элементы конструкции ЗСУ испытывают значительные нагрузки, среди которых наибольший интерес представляют силы, возникающие на валу двигателя.

Для того чтобы выявить нагрузки, приближенные к реальным, были проведены динамические исследования механизма вибрации с учетом момента инерции движущихся элементов в программе SolidWorks Motion. Для исследования движения вибропривода были заданы направления силы тяжести, движения двигателя и вес дерева с ЗСУ. Для упрощения исследования из 3D-модели ЗСУ были убраны лишние элементы (гидроцилиндр наклона, стойка с механизмами срезания и зажима), которые были заменены на соответствующую вертикальную силу равную 1200 Н. Геометрические размеры основных элементов вибропривода ЗСУ, разработанного для обработки деревьев при рубках ухода, представлены на рис. 2.

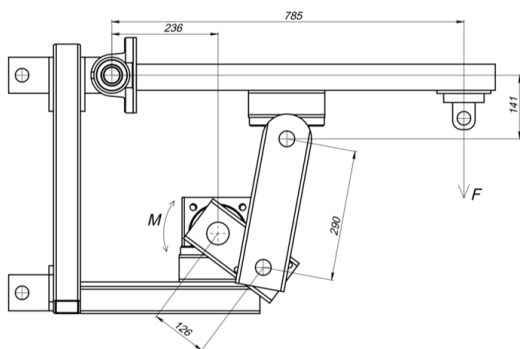


Рис.2. Геометрические параметры вибропривода (в мм)

Fig.2. Geometric parameters of the vibration drive (in mm)

Результаты исследования. В результате исследования движения вибропривода в первую очередь была определена траектория перемещения точки подвеса ЗСУ, которая представлена на рис. 3.

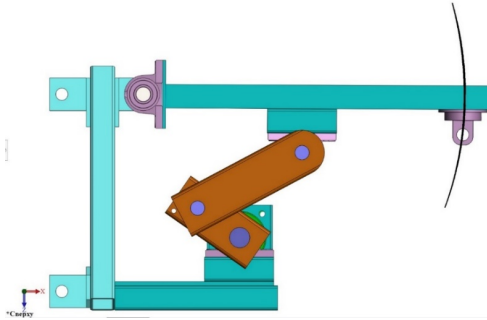


Рис.3. Траектория перемещения точки подвеса ЗСУ

Fig.3. The trajectory of the ZSU suspension point

Построенная траектория перемещения точки подвеса ЗСУ имеет форму дуги и для заданных размеров виброподвеса (рис. 3) ее отклонение составляет всего 5 см, что незначительно по сравнению с высотой дерева и с собственными колебательными отклонениями.

Одним из главных параметров, необходимый для расчета динамической стабилизации вертикально удерживаемого дерева, является амплитуда колебаний. Амплитуда линейного перемещения точки подвеса ЗСУ представлена на графике (рис. 4).

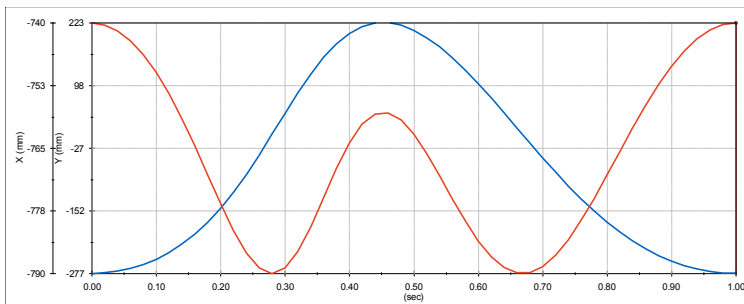
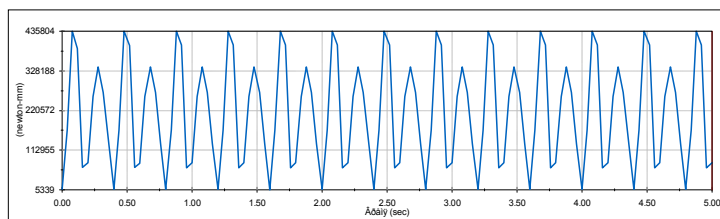


Рис.4. График линейного перемещения точки подвеса ЗСУ:
синий – вертикальное, красный – горизонтальное

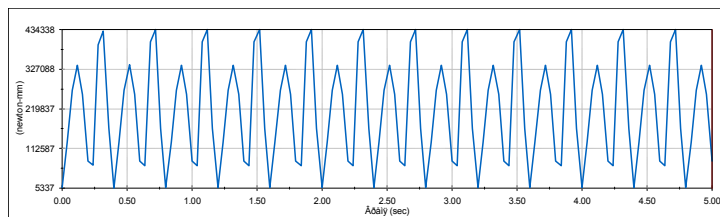
*Fig.4. Graph of linear movement of the suspension point of the ZSU:
blue – vertical, red – horizontal*

Из графика (рис. 4) видно, что максимальное вертикальное перемещение составляет 500 мм (синяя линия (223; -277)), а горизонтальное отклонение составляет 50 мм (красная линия (-790; -740)). Исходя из особенности конструкции (точка подвеса опущена относительно точки крепления стрелы), горизонтальное положение стрелы не является точкой максимального отклонения точки подвеса по горизонтали. При максимальном отклонении по оси абсцисс, ход по вертикали все равно не равнозначен, и разница составляет 54 мм.

Прежде чем определить возникающий момент на движителе, стоит отметить, что во время одного оборота движителя точка подвеса проходит весь свой путь и возвращается назад, но время полуоборота движителя разное. Это связано с несимметричным расположением по вертикали оси движителя и точки соединения тяги со стрелой. Например, для вибропривода (рис. 3) при вращении кулисы по часовой стрелке время перемещения точки подвеса от нижнего положения до верхнего составляет 45,7% общего времени перемещения. В результате этой разницы в зависимости от направления вращения движителя незначительно будет меняться и момент на движителе. Результаты моделирования момента на движителе при разном направлении вращения вибропривода с частотой 150 об/мин для дерева массой 50 кг представлены на рис. 5.



а



б

Рис. 5. Момент на движителе при направлении вращения вала движителя:
а – по часовой, б – против часовой

Fig. 5. Torque on the propulsor in the direction of rotation of the propulsor shaft: a – clockwise, b – counterclockwise

В результате исследования возникающего момента на двигателе вибропривода при частоте вращения 150 об/мин (равное частоте колебания точки подвеса ЗСУ), максимальный момент на валу при вращении по часовой стрелке равен 435804 Н·мм, при вращении против часовой – 434338 Н·мм (рис. 5). Разница значений составляют 0,3%, поэтому направление вращения вала двигателя можно не учитывать.

Заключение. Предложенная конструкция вибропривода ЗСУ позволяет производить колебания дерева, удерживаемого в вертикальном положении, для реализации принципа динамического удержания обратного маятника на осциллирующем подвесе.

Проведенные исследования движения элементов предложенной конструкции вибропривода показали, что при частоте вращения двигателя 150 об/мин на валу двигателя возникает момент равный 435 Н·м, что укладывается в номинальный крутящий момент большинства высокомоментных гидродвигателей, используемых на транспортных средствах.

Сведения о финансировании исследования. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00421 «Обоснование конструкции и параметров узкозахватного навесного технологического оборудования с вибрирующим подвесом лесозаготовительной машины», <https://rscf.ru/project/23-29-00421/>».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Александров В.А. Механизация лесосечных работ в России: монография. СПб.: ЛТА, 2000. 208 с.

Александров В.А., Александров А.В. Вибронагруженность оператора валочно-пакетирующей машины в процессе выведения из древостоя срезанного дерева стрелой // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. № 217. С. 71–80.

Александров В.А., Лузанова Л.Н., Александров А.В. Вибронагруженность оператора валочно-пакетирующей машины в режиме подъема дерева стрелой // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2015. № 212. С. 78–84.

Емельянова, Т.В., Аминов Л.А., Яблонский Д.В. Исследование устойчивости перевернутого маятника с вертикально колеблющейся точкой подвеса // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2021. № 2(14). С. 45–52.

Жуков А.В., Асмоловский М.К., Мохов С.П. Эксплуатационные испытания узкозахватных валочных машин на рубках ухода // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 1997. № 5. С. 43–48.

Ласточкин Д.М., Онучин Е.М. Автоматизация захватно-срезающего устройства лесозаготовительной машины. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 91. С. 521–536.

Онучин Е.М., Рябинин Д.Е. Умные машины придут в лес: монография. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2012. 116 с.

Пат. 2023111991 РФ, Захватно-срезающее устройство №2810547 / Ласточкин Д.М., Медяков А.А., Осташенков А.П.; опубл. 27.12.2023.Бюл. № 36.

Сидыганов Ю.Н., Онучин Е.М., Ласточкин Д.М. Модульные машины для рубок ухода и лесовосстановления: монография. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. 336 с.

Ширнин Ю.А., Ширнин А.Ю. Разработка параметров оборудования и технологии для экспериментальных условий лесозаготовок: монография. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. 232 с.

Lastochkin D.M., Onuchin E.M., Medyakov A.A., Kostromin D.V., Ostashenkov A.P. Study of parameters of elements of a felling head for lifting and moving trees for the purpose of clearing agricultural lands and agroforestry // Journal of Applied Engineering Science. 2017. T.15. № 3. P. 247–257. DOI: 10.5937/jaes15-13713.

References

Alexandrov V.A. Mechanization of logging operations in Russia: monograph. St. Petersburg: LTA, 2000. 208 p. (In Russ.)

Alexandrov V.A., Alexandrov A.V. Vibration load of the operator of a felling-packing machine in the process of removing a cut tree from a stand with an arrow. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii*, 2016, iss. 217, pp. 71–80. (In Russ.)

Alexandrov V.A., Luzanova L.N., Alexandrov A.V. Vibration load of the operator of the felling-packing machine in the mode of lifting a tree with an arrow. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii*, 2015, iss. 212, pp. 78–84. (In Russ.)

Yemelyanova T.V., Aminov L.A., Yablonsky D.V. Stability study of an inverted pendulum with a vertically oscillating suspension point. *Actual problems of military scientific research*, 2021, no. 2(14), pp. 45–52. (In Russ.)

Zhukov A.V., Asmolovsky M.K., Mokhov S.P. Operational tests of narrow-cut felling machines on thinnings. *Proceedings of the Belarusian State Technological University. Series 2. Forestry and woodworking industry*, 1997, no. 5, pp. 43–48. (In Russ.)

Lastochkin D.M., Onuchin E.M. Automation of the grabbing and cutting device of a logging machine. *Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*, 2013, no. 91, pp. 521–536. (In Russ.)

Onuchin E.M., Ryabinin D.E. Smart cars will come to the forest: a monograph. Yoshkar-Ola: PGU, 2012. 116 p. (In Russ.)

Patent 2023111991 RU, Zakhvatno-srezayushcheye ustroystv [Grabbing and cutting device] / Lastochkin D.M., Medyakov A.A., Ostashenkov A.P. Publ. 27.12.2023; bul. no. 36. (In Russ.)

Sidiganov Yu.N., Onuchin E.M., Lastochkin D.M. Modular machines for thinning and reforestation: monograph. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2008. 336 p. (In Russ.)

Shirnin Yu.A., Shirnin A.Yu. Development of equipment parameters and technology for experimental logging conditions: monograph. Yoshkar-Ola: PGТУ, 2014. 232 p. (In Russ.)

Lastochkin D.M., Onuchin E.M., Medyakov A.A., Kostromin D.V., Ostashenkov A.P. Study of parameters of elements of a felling head for lifting and moving trees for the purpose of clearing agricultural lands and agroforestry. *Journal of Applied Engineering Science*, 2017, vol. 15, no. 3, pp. 247–257. DOI: 10.5937/jaes15-13713.

Материал поступил в редакцию 05.12.2023

Ласточкин Д.М., Сидыганов Ю.Н., Кретинин В.И., Багаутдинов И.Н. Исследование движения элементов вибропривода захватно-срезающего устройства // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 248. С. 220–229. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.248.220-229

В статье рассмотрены вопросы анализа движения элементов вибрационного механизма захватно-срезающего устройства, обеспечивающего динамическое удержание дерева в вертикальном положении. Исследование основано на применении принципа динамического удержания обратного маятника на осциллирующем подвесе. Реализована разработка нового захватно-срезающего устройства, отличающегося наличием вибрационного механизма, необходимого для создания вертикальных колебаний удерживаемого дерева. В статье дано описание конструкции навесного захватно-срезающего устройства с виброприводом и последовательность его работы при срезании, удержании и пакетировании дерева. На 3D-модели предложенной конструкции захватно-срезающего устройства были проведены динамические исследования механизма вибрации с учетом момента инерции движущихся элементов в программе SolidWorks Motion. В рамках анализа движения была построена траектория движения точки подвеса захватно-срезающего устройства, имеющая форму дуги с максимальным отклонением 5 см. Анализ линейного перемещения точки подвеса ЗСУ показал, что вертикальное перемещение составляет 500 мм, а горизонтальное отклонение составляет 50 мм. Исследования движения элементов предложенной конструкции вибропривода показали, что при частоте вращения движителя 150 об/мин на валу движителя возникает момент равный 435 Н·м, что укладывается в номинальный крутящий момент большинства высоко моментных гидродвигателей.

Ключевые слова: захватно-срезающее устройство, вибропривод, динамическая стабилизация, вертикальное дерево, лесозаготовка, исследование движения.

Lastochkin D.M., Sidiganov Yu.N., Cretinin V.I., Bagautdinov I.N. Study of the movement of vibration drive elements of a gripping-cutting device. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2024, iss. 248, pp. 220–229 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.248.220-229

The article considers the issues of analyzing the movement of the elements of the vibration mechanism of the gripping and shearing device, which provides dynamic retention of the tree in an upright position. The study is based on the application of the principle of dynamic retention of the reverse pendulum on an oscillating suspension. The development of a new gripping and shearing device has been implemented, characterized by the presence of a vibration mechanism necessary to create vertical vibrations of the held tree. The article describes the design of a hinged gripping and shearing device with a vibration drive and the sequence of its operation when cutting, holding and packing wood. Dynamic studies of the vibration mechanism, taking into account the moment of inertia of moving elements in the SolidWorks Motion program, were carried out on a 3D model of the proposed design of the gripping and shearing device. As part of the motion analysis, the trajectory of the suspension point of the gripper-shearing device was constructed, having the shape of an arc with a maximum deviation of 5 cm. The analysis of the linear displacement of the suspension points of the ZSU showed that the vertical displacement is 500 mm, and the horizontal deviation is 50 mm. Studies of the movement of the elements of the proposed vibration drive design have shown that at a rotational speed of 150 rpm, a torque equal to 435 Nm occurs on the propeller shaft, which fits into the nominal torque of most high-torque hydraulic motors.

Keywords: gripping and cutting device, vibration suspension, dynamic stabilization, vertical tree, logging, motion research.

ЛАСТОЧКИН Денис Михайлович – доцент кафедры эксплуатации машин и оборудования Поволжского государственного технологического университета, кандидат технических наук, доцент. SPIN-код: 7597-7487. ORCID: 0000-0002-0442-384X.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия.
E-mail: lastochkindm@volgatech.net

LASTOCHKIN Denis M. – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Machinery and Equipment Operation of the Volga State University of Technology. SPIN-code: 7597-7487. ORCID: 0000-0002-0442-384X.

424000. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Republic of Mari El. Russia. E-mail: lastochkindm@volgatech.net

СИДЫГАНОВ Юрий Николаевич – профессор кафедры эксплуатации машин и оборудования Поволжского государственного технологического университета, доктор технических наук, профессор. SPIN-код: 5527-9829. ORCID: 0000-0003-3665-5431.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия.
E-mail: SidyganovYN@volgatech.net

SIDIGANOV Yuri N. – DSc (Technical), Professor of the Department of Operation of Machines and Equipment of the Volga State Technological University. SPIN-code: 5527-9829. ORCID: 0000-0003-3665-5431.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия. E-mail: SidyganovYN@volgatech.net

КРЕТИНИН Виктор Иванович – доцент кафедры автоматизации, метрологии и управления в технических системах Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук. SPIN-код: 4424-8046. ORCID: 0000-0003-0467-4080.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: KVI_1960@mail.ru

KRETININ Viktor I. – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Automation, Metrology and Control in Technical Systems, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 4424-8046. ORCID: 0000-0003-0467-4080.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: KVI_1960@mail.ru

БАГАУТДИНОВ Ильдар Нургаязович – доцент кафедры эксплуатации машин и оборудования Поволжского государственного технологического университета, кандидат технических наук, доцент. SPIN-код: 1688-5368. ORCID: 0000-0003-4695-5323.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия. E-mail: BagautdinovIN@volgatech.net

BAGAUTDINOV Ildar N. – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Machinery and Equipment Operation of the Volga State University of Technology. SPIN-code: 1688-5368. ORCID: 0000-0003-4695-5323.

424000. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Republic of Mari El. Russia. E-mail: BagautdinovIN@volgatech.net