

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

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ
ЗАХВАТНО-СРЕЗАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА
С МЕХАНИЗМОМ ВИБРАЦИИ**

Введение. Проведение комплексных научных исследований является неотъемлемой частью создания машин и оборудования лесозаготовок и лесного хозяйства [Александров, 2000; Сидыганов и др., 2008; Ширнин, Ширнин, 2014; Александров, 2020]. Особенно важно, когда это связано с новыми направлениями разработки, которые еще не получили широкого распространения и имеют достаточно ограниченный объем теоретических и практических знаний. К одному из таких направлений можно отнести разработку захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации, предназначенного для удержания дерева в вертикальном положении за счет эффекта динамической стабилизации перевернутого маятника на осциллирующем подвесе [Ласточкин и др., 2023]. В рамках проведенных исследований по данной теме была разработана модель и проведен теоретический анализ процессов работы захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации [Ласточкин и др., 2024a, b]. Также авторами было выяснено, что при динамической стабилизации вертикального дерева элементы захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации испытывают значительные нагрузки, характер которых сильно зависит от режима эксплуатации и параметров удерживаемого дерева [Ласточкин и др., 2024a, b]. Для анализа характера возникающих нагрузок в элементах конструкции захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации необходимо провести экспериментальные исследования по динамической стабилизации вертикально удерживаемого дерева в условиях опытной эксплуатации.

Целью экспериментальных исследований является определение эксплуатационных показателей работы основных элементов захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации при динамической стабилизации вертикально удерживаемого дерева в условиях выполнения технологических операций рубок ухода.

Материалы и методика исследования. Для проведения экспериментальных исследований по динамической стабилизации вертикально удерживаемого дерева в условиях опытной эксплуатации

живаемого дерева, заготавливаемого при рубках ухода, был изготовлен вариант захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации (рис. 1), которое устанавливалось на переднюю навеску специального самоходного колесного шасси.



Рис. 1. Экспериментальный образец захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации

Fig. 1. Experimental sample of a gripping and cutting device with a vibration mechanism

В рамках экспериментальных исследований захватно-срезающее устройство выполняло основные технологические операции лесозаготовки, такие как срезание и захват дерева, отделение дерева от пня и удержание его во время динамической стабилизации в вертикальном положении при транспортировке (рис. 2). При выполнении технологических операций параметры заготавливаемых деревьев варьировались по диаметру у места среза. В качестве основной заготавливаемой породы деревьев была выбрана береза.

Из-за особенности процесса динамической стабилизации дерева в вертикальном положении элементы конструкции захватно-срезающего устройства испытывают значительные нагрузки, основные из которых приходятся на механизмы вибрации и зажима дерева. Для выявления характера таких нагрузок с помощью измерительных датчиков производилась регистрация изменения давления в магистралях гидромотора механизма вибрации и приводного гидроцилиндра рычага зажима.



Рис. 2. Проведение экспериментальных исследований
Fig. 2. Conducting experimental research

Места установки и способ крепления датчиков (рис.1) выбирались на месте с учетом конструктивных особенностей и рекомендаций по их эксплуатации. Главными критериями при установке датчиков было сохранение полной функциональности всех элементов захватно-срезающего устройства. Для обработки сигналов, полученных с датчиков, применялся измерительный комплекс на основе модуля по преобразованию аналогового сигнала NI 9219 и программы LabView. В программе использовался инструмент DAQ Assistant, с помощью которого измеренные сигналы преобразовывались в цифровой вид и использовались в программе для вычисления значений физических величин.

Результаты исследования. В результате экспериментальных исследований были получены данные изменения эксплуатационных показателей работы основных элементов захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации при выполнении технологических операций рубок ухода. На рис. 3–4 представлены образцы экспериментальных данных изменения давления в магистралях механизмов зажима и вибрации захватно-

срезающего устройства при заготовке березы, диаметром у места среза 12 см, с последующим перемещением со скоростью 3,0 м/с. На графиках участок (0...3,5 с) соответствует процессу, при котором отсутствует давление в магистрали при наводке захватно-срезающего устройства на дерево (рычаг захвата предварительно открыт); участок (3,5...5 с) соответствует захвату дерева с одновременным его срезанием; участок (5,5...7 с) соответствует переводу захватно-срезающего устройства в транспортное положение (поднятие ЗСУ над землей на 50 см); участок (7...22 с) соответствует транспортировке дерева в вертикальном положении.

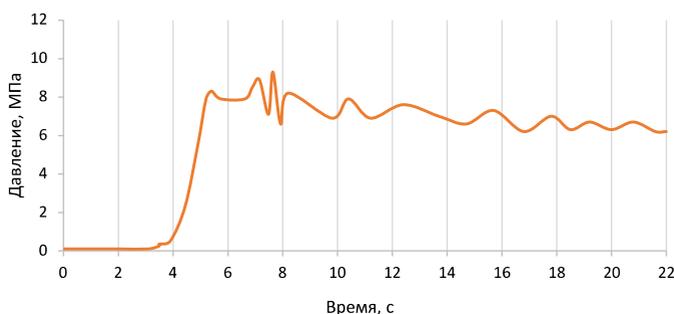


Рис. 3. Образец экспериментальных данных изменения давления в магистрали гидроцилиндра захвата дерева

Fig. 3. Sample experimental data change in pressure in the hydraulic cylinder line of the tree gripper

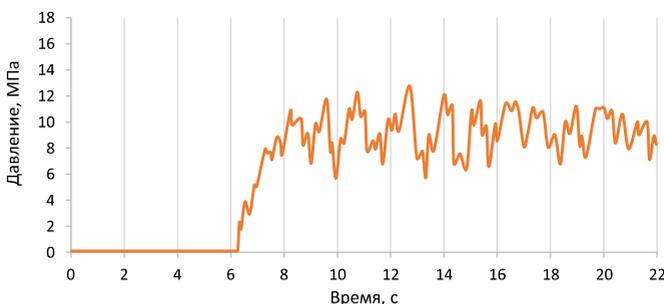


Рис. 4. Образец экспериментальных данных изменения давления в магистрали гидромотора механизма вибрации

Fig. 4. Sample of experimental data of pressure change / in the hydraulic motor line of the vibration mechanism

График на рис. 3 показывает изменение давления в магистрали гидроцилиндра захвата дерева на разных этапах технологического процесса заготовки дерева. Так, в процессе зажима дерева давление в магистрали гидроцилиндра зажима дерева возрастает до момента полного обхвата дерева рычагом. При окончании срезания давление в магистрали механизма зажима дерева немного снижается (5 с), после чего до включения механизма вибрации остается почти постоянным. После включения механизма вибрации происходит раскачивание дерева, которое приводит к дополнительным нагрузкам на рычаг зажима, и давление в магистрали гидроцилиндра зажима резко возрастает (7 с...8,5 с). После достижения гидромотором максимальных оборотов давление в магистрали зажима дерева сглаживается, и присутствуют только незначительные отклонения (отрезок 9...22 с). Также в целом прослеживается снижение давления и ослабление силы зажима за счет утечек рабочей жидкости в гидросистеме и за счет смятия поверхности дерева. Такое снижение давления в среднем составляло 0,07 МПа за 1 с. В связи с этим при перемещении дерева на большое расстояние приходилось периодически включать распределитель для поддержания давления в магистрали захвата, чтобы обеспечить надёжное удержание спиленного дерева.

График на рис. 4 показывает изменение давления в магистрали гидромотора механизма вибрации при выполнении технологического процесса заготовки дерева. Включение гидромотора (с 6...7 с) характеризуется всплеском изменения давления в магистрали до момента набора гидромотором максимальных оборотов вращения (1...2 с). В процессе работы механизма вибрации наблюдалось колебание давления в магистрали гидромотора, которое складывалось из самой работы механизма вибрации, колебаний дерева и работы гидронасоса. При удержании деревьев диаметром, близким к максимально расчетным (18 см), наблюдалось сильное раскачивание дерева и увеличение амплитуды и частоты колебаний давления в магистрали гидромотора механизма вибрации до 12,5...13,5 МПа, которое могло сопровождаться автоматическим отключением распределителя. При динамической стабилизации вертикально перемещаемых деревьев малого диаметра (10...16 см) наблюдалось отчетливое снижение амплитуды и частоты колебаний, что свидетельствует о стремлении системы к стабилизации и к сглаживанию динамических параметров.

Заключение. В результате экспериментальных исследований были получены данные изменения давления механизмов вибрации и зажима дерева захватно-срезающего устройства при срезании, фиксации и последующей динамической стабилизации дерева в вертикальном положении при

транспортировке. Полученные данные показали, что при начале работы механизма вибрации происходит всплеск амплитуды и частоты колебаний давления в магистралях механизма вибрации и зажима дерева, который связан с особенностями кинематики конструкции захватно-срезающего устройства и сильного раскачивания консольно закрепленного дерева. Также установлено, что при установившемся режиме работы механизма вибрации для деревьев от 10 до 16 см у места среза прослеживалась тенденция к снижению амплитуды и частоты колебаний давления, что свидетельствует о стремлении системы к стабилизации и к сглаживанию динамических параметров. Анализ экспериментальных данных по заготовке деревьев разных диаметров показал, что величина давлений в магистралях механизмов зажима и вибрации находится в допустимых пределах. В дальнейшем, усовершенствовав конструкцию захватно-срезающего устройства, можно добиться более эффективной динамической стабилизации дерева в вертикальном положении, повысить параметры заготавливаемых деревьев и скорость их выноса.

Сведения о финансировании исследования. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00421, <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. Нагруженность валочно-пакетирующих машин на лесозаготовках. СПб.: СПбГЛТУ, 2020. 295 с.

Ласточкин Д.М., Медяков А.А., Остащенко А.П. Патент 2023111991 РФ Захватно-срезающее устройство №2810547. Оpubл. 27.12.2023. Бюл. № 36.

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

Ласточкин Д.М., Сидыганов Ю.Н., Кретинин В.И., Медяков А.А. Анализ частоты колебаний вертикально удерживаемого дерева на виброподвесе // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024b. №249. С. 220–229. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.220-229.

Сидыганов Ю.Н., Онуцин 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.

References

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

Aleksandrov V.A. Loading of feller-buncher machines in logging. St. Petersburg: LTA, 2020. 295 p. (In Russ.)

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

Lastochkin D.M., Sidyganov Yu.N., Cretinin V.I., Bagautdinov I.N. Study of the movement of vibration drive elements of a gripping-cutting device. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii*, 2024a, iss. 248, pp. 220–229. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.248.220-229. (In Russ.)

Lastochkin D.M., Sidyganov Yu.N., Cretinin V.I., Medyakov A.A. Analysis of the vibration frequency of a vertically held tree on a vibration suspension. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii*, 2024, iss. 249b, pp. 220–229. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.220-229. (In Russ.)

Sidyganov 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: PGU, 2014. 232 p. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 19.04.2024

Ласточкин Д.М., Сидыганов Ю.Н., Кретинин В.И., Костромин Д.В. Экспериментальные исследования работы захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 191–200. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.191-200

В статье представлены результаты экспериментальных исследований изменения давления механизмов вибрации и зажима дерева захватно-срезающего устройства на разных этапах технологического процесса рубок ухода. Исследования проводились на экспериментальном образце захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации. В рамках экспериментальных исследований захватно-срезающее устройство выполняло основные технологические операции лесозаготовки, такие как срезание и захват дерева, отделение дерева от пня и динамическая стабилизация в вертикальном положении при транспортировке. При выполнении технологических операций параметры заготавливаемых деревьев варьировались по диаметру у места среза. В качестве основной заготавливаемой породы деревьев была выбрана береза. Для выявления характера оказываемых нагрузок с помощью измерительных датчиков производилась регистрация изменения давления в магистралях приводного гидроцилиндра

рычага зажима и гидромотора механизма вибрации. Полученные данные показали, что при начале работы механизма вибрации происходит всплеск амплитуды и частоты колебаний давления в магистралях механизмов вибрации и зажима дерева, который связан с особенностями кинематики конструкции захватно-срезающего устройства и сильного раскачивания консольно закрепленного дерева. Также установлено, что при установившемся режиме работы механизма вибрации для деревьев от 10 до 16 см у места среза прослеживалась тенденция к снижению амплитуды и частоты колебаний давления, что свидетельствует о стремлении системы к стабилизации и к сглаживанию динамических параметров. Анализ экспериментальных данных по заготовке деревьев разных диаметров показал, что величина давлений в магистралях механизмов зажима и вибрации находится в допустимых пределах и при дальнейшем совершенствовании конструкции захватно-срезающего устройства с механизмом вибрации существует возможность повышения эффективности динамической стабилизации дерева в вертикальном положении.

Ключевые слова: захватно-срезающее устройство, механизм вибрации, динамическая стабилизация, вертикальное дерево, лесозаготовка, экспериментальные исследования.

Lastochkin D.M., Sidyganov Yu.N., Kretinin V.I., Kostromin D.V. Experimental studies of the operation of a gripping and cutting device with a vibration mechanism. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 191–200 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.191-200

The article presents the results of experimental studies of changes in the pressure of the vibration and tree clamping mechanisms of the gripping and cutting device at different stages of the technological process of thinning. The studies were conducted on an experimental sample of the gripping and cutting device with a vibration mechanism. As part of the experimental studies, the gripping and cutting device performed the main technological operations of logging, such as cutting and gripping a tree, separating a tree from a stump and dynamic stabilization in a vertical position during transportation. When performing technological operations, the parameters of the harvested trees varied in diameter at the cut site. Birch was chosen as the main harvested tree species. To identify the nature of the loads exerted, pressure changes in the lines of the drive hydraulic cylinder of the clamp lever and the hydraulic motor of the vibration mechanism were recorded using measuring sensors. The data obtained showed that when the vibration mechanism starts working, there is a surge in the amplitude and frequency of pressure oscillations in the lines of the vibration mechanisms and tree clamping, which is associated with the kinematics features of the gripping and cutting device design and strong swinging of the cantilever-mounted tree. It was also established that in the steady-state mode of operation of the vibration mechanism for trees from 10 to 16 cm at the cutting site there was a tendency to reduce the amplitude

and frequency of pressure oscillations, which indicates to us the desire of the system to stabilize and smooth out dynamic parameters. Analysis of experimental data on harvesting trees of different diameters showed that the value of pressure in the main lines of the clamping and vibration mechanisms is within acceptable limits and with further improvement of the design of the gripping and cutting device with a vibration mechanism, there is a possibility of increasing the efficiency of dynamic stabilization of the tree in a vertical position.

Key words: gripping-cutting device, vibration mechanism, dynamic stabilization, vertical tree, forest harvesting, experimental studies.

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

SIDYGANOV Yuriy 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. Lenina sq. 3. Yoshkar-Ola. Republic of Mari El. Russia. 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, доцент. 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. Institutskiy per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: KVI_1960@mail.ru

КОСТРОМИН Денис Владимирович – заведующий кафедрой эксплуатации машин и оборудования Поволжского государственного технологического университета, кандидат технических наук, доцент. SPIN-код: 6948-5157. ORCID: 0000-0001-6190-0799.

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

KOSTROMIN Denis V. – PhD (Technical), Head of the Department of Machinery and Equipment Operation of the Volga State University of Technology. SPIN-code: 6948-5157. ORCID: 0000-0001-6190-0799

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