

А.Р. Михитаров, Ю.А. Добрынин

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МАШИНЫ С МАНИПУЛЯТОРОМ ДЛЯ КОРЧЕВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИБРАЦИИ

Введение. Необходимость создания новой техники для производства корчевальных работ давно назрела в российском лесном машиностроении. Парк отечественных машин представлен в основном корчевателями-собираателями на базе гусеничного трактора, конструкции которых уже не соответствуют современному уровню.

Кроме данного вида машин в этом сегменте присутствуют машины с фрезерным оборудованием, еще называемые мульчерами. Это направление развития лесных машин приобрело большое распространение за рубежом и активно внедряется в нашей стране.

Но, несмотря на появление новых технологий уборки остатков рубки, потребность в корчевальных машинах будет оставаться, так как только с их помощью можно полностью убрать остатки корневых систем.

Как известно, процедура проведения корчевальных работ регламентирована в Лесном кодексе, в соответствии с которым она должна проводиться при лесовосстановлении, в случае если количество пней на участке превышает 500 шт./га¹.

Кроме того, полученная после корчевания древесина пней представляет ценность как продукт целлюлозной и химической промышленности.

При создании новой перспективной техники для корчевания нужно учитывать фактор универсальности, например, многие модели советских корчевателей-собираателей имели возможность корчевать не только пни, но и деревья. Очевидно, что эта функция может быть крайне полезна как при рубках ухода, так и при лесовосстановлении.

Состояние вопроса в работах отечественных и зарубежных авторов. Одним из первых образцов отечественной техники, использующей вибрацию при корчевании, был виброзахват для корчевания пней [Скальский, 1967]; также известны машина для заготовки деревьев с корнями [Шегельман, 1977] и грейфер пней [Шегельман, 1979], среди зарубежных – устройство для из-

¹ Ст. 62 ЛК РФ с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2023.

влечения всего дерева [Грэди, 1978]. Позже этой проблемой занимался венгерский исследователь И. Чупи и соавторы [Horváth-Szováti, 2005].

Важнейшим вопросом для машин с вибрационным оборудованием является их эффективность. Очевидно, что именно по этой причине возникла тенденция к полному отказу от производства традиционных корчевальных работ. Как мы можем видеть, уже в трудах советских авторов по данному вопросу говорится, что сочетание работы корчевателей с вибрацией приводит к максимальной эффективности [Застенский и др., 2000].

Тем не менее создаваемые корчевальные машины с вибраторами не показывали ожидаемого результата.

Цель исследования: определение эффективности прототипа будущей корчевальной машины с вибрационным воздействием для лесохозяйственных работ.

Материалы и методика исследования. Для дальнейшего изучения данного вопроса была создана математическая модель продольного вибрационного воздействия при корчевании дерева (пня) корчевальной машиной на базе валочной машины ЛП-19 (рис. 1, 2).

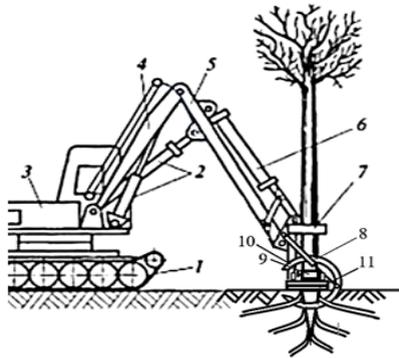


Рис. 1. ВПМ машина ЛП-19 с вибрационным оборудованием:

- 1 – ходовая система; 2 – гидроцилиндры стрелы и рукояти;
- 3 – поворотная платформа; 4 – стрела; 5 – рукоять; 6 – гидроцилиндр поворота захватного устройства; 7 – верхний захват; 8 – гидроцилиндр механизма захвата;
- 9 – вибратор; 10 – ножи захвата; 11 – прижимная пластина с гидроприводом

Fig. 1. Feller buncher machine LP-19 with vibration equipment

- 1 – running system; 2 – boom and stick hydraulic cylinders; 3 – turntable;
- 4 – crane boom; 5 – arm; 6 – hydraulic cylinder for turning the gripping device;
- 7 – upper grip; 8 – hydraulic cylinder of the capture mechanism; 9 – vibrator;
- 10 – gripping knives; 11 – pressure platten with hydraulic drive

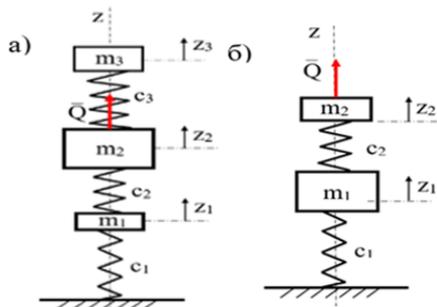


Рис. 2. Расчетная схема (а – «машина-дерево-ПКС», б – «машина-ПКС»), где m_1, m_2, m_3 – соответственно приведенные массы почвенно-корневой системы (ПКС), звена манипулятора и ствола дерева, c_1, c_2, c_3 – соответственно приведенные коэффициенты жесткости ПКС, манипулятора и дерева, z_1, z_2, z_3 – обобщенные координаты системы машина-дерево-ПКС, \bar{Q} – возмущающая сила, действующая на звено манипулятора

Fig. 2. Calculation scheme (a – «machine-tree-PKS», b – «machine-PKS»), where m_1, m_2, m_3 are the respectively reduced masses of the soil-root system (SRS), the link of the manipulator and the tree trunk, c_1, c_2, c_3 are the respectively reduced stiffness coefficients of the PKS, the manipulator and the tree, z_1, z_2, z_3 are the generalized coordinates of the machine-tree-PKS, \bar{Q} is the perturbing force acting on the link of the manipulator

Анализ динамики системы, состоящей из технологического оборудования, дерева и почвенно-корневой системы, далее «машина-дерево-ПКС», показал, что эффективность вибрационного воздействия достигает наивысшего значения при определенной частоте возмущающего усилия [Хегай и др., 2015].

По полученным аналитическим путем формулам и принятым расчетным параметрам были построены графики зависимости амплитуд продольных колебаний компонентов системы от частоты возмущающей силы (рис. 3, 4).

На фрагменте 3 (б) графика системы «машина-дерево-ПКС» (рис. 3) мы можем видеть интервал частот возмущения, соответствующих оптимальному режиму, когда амплитуда колебания ПКС (A_1) принимает существенные значения, а амплитуды колебаний машины и дерева (A_2 и A_3) близки к нулю.

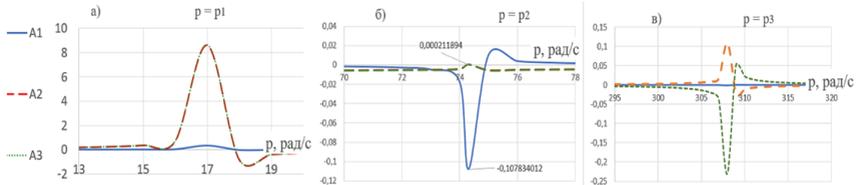


Рис. 3. Фрагменты графика изменения амплитудно-частотных характеристик системы «машина-дерево-ПКС» при продольных колебаниях, где A_1 – амплитуда колебания ПКС, A_2 – амплитуда колебания машины, A_3 – амплитуда колебания ствола, p – циклическая частота возмущающей силы

Fig. 3. Fragments of the graph of changes in the amplitude-frequency characteristics of the «machine-tree-PKS» system during longitudinal oscillations, where A_1 – is the amplitude of the oscillation of the PKS, A_2 – is the amplitude of the machine oscillation, A_3 – is the amplitude of the trunk tree oscillation, p – is the cyclic frequency of the disturbing force

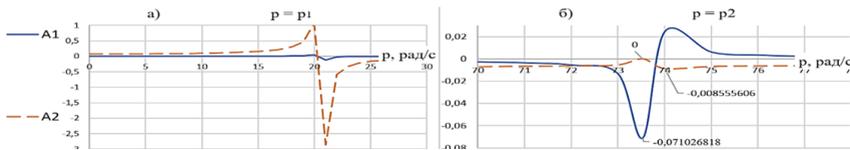


Рис. 4. Фрагменты графика изменения амплитудно-частотных характеристик системы «машина-ПКС» при продольных колебаниях, где A_1 – амплитуда колебания ПКС, A_2 – амплитуда колебания машины, p – циклическая частота возмущающей силы

Fig. 4. Fragments of the graph of changes in the amplitude-frequency characteristics of the «machine-PKS» system during longitudinal oscillations, where A_1 is the amplitude of the PKS oscillation, A_2 is the amplitude of the machine oscillation, p is the cyclic frequency of the disturbing force

То же получаем на фрагменте 4 (б) графика системы «машина-ПКС» (рис. 4), когда амплитуда колебания ПКС (A_1) принимает существенные значения, а амплитуда колебания машины (A_2) близка к нулю.

В качестве альтернативы были рассмотрены крутильные колебания. Для анализа динамики крутильных колебаний систем «машина-дерево-ПКС» и «машина-ПКС» были разработаны математические модели (рис. 5) [Хегай и др., 2018].

По полученным аналитическим путем формулам и принятым расчетным параметрам были построены графики зависимости амплитуд крутильных колебаний компонентов системы от частоты возмущающего момента (рис. 6, 7).

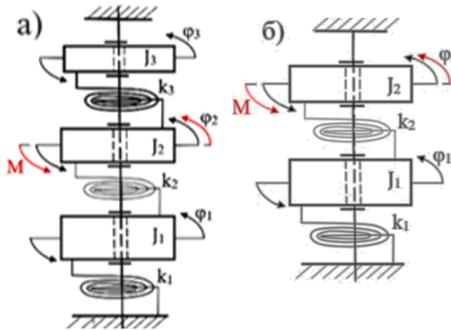


Рис. 5. Расчетная схема динамики крутильных колебаний механической системы (а – «машина-дерево-ПКС», б – «машина-ПКС»): J_1, J_2, J_3 – соответственно приведенные моменты инерций ПКС, технологического оборудования и дерева; k_1, k_2, k_3 – соответственно приведенные коэффициенты жесткости на кручение ПКС, технологического оборудования и ствола дерева; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – обобщенные координаты системы; M – возмущающий крутящий момент, действующий на технологическое оборудование

Fig. 5. Calculation scheme for the dynamics of torsional vibrations of a mechanical system (а – «machine-tree-PKS», б – «machine-PKS»):

J_1, J_2, J_3 are respectively the reduced moments of inertia of the PKS, technological equipment and tree trunk; k_1, k_2, k_3 are respectively reduced coefficients of torsional rigidity of the hitch, technological equipment and tree trunk; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ are the generalized coordinates of the system; M is the disturbing moment acting on the process equipment; of the perturbing moment

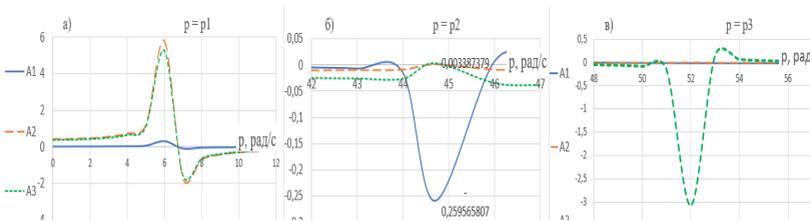


Рис. 6. Фрагменты графика изменения амплитудно-частотных характеристик системы «машина-дерево-ПКС» при крутильных колебаниях, где A_1 – амплитуда колебания ПКС, A_2 – амплитуда колебания машины, A_3 – амплитуда колебания ствола, p – циклическая частота возмущающего момента.

Fig. 6. Fragments of the graph of changes in the amplitude-frequency characteristics of the "machine-tree-PKS" system during torsional vibrations, where A_1 is the amplitude of the oscillation of the PKS, A_2 is the amplitude of the machine oscillation, A_3 is the amplitude of the trunk tree oscillation, p is the cyclic frequency of the disturbing moment

На фрагменте 6 (б) графика системы «машина-дерево-ПКС» (рис. 6) мы можем видеть участок частот возмущения, соответствующих оптимальному режиму, когда амплитуда колебания ПКС (A_1) принимает существенные значения, а амплитуды колебаний машины и дерева (A_2 и A_3) близки к нулю.

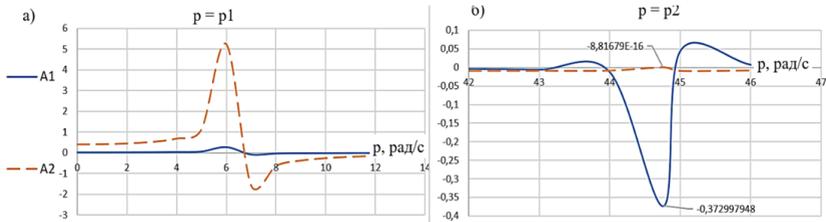


Рис. 7. Фрагменты графика изменения амплитудно-частотных характеристик системы «машина-ПКС» при крутильных колебаниях, где A_1 – амплитуда колебания ПКС, A_2 – амплитуда колебания машины, p – циклическая частота возмущающего момента

Fig. 7. Fragments of the graph of changes in the amplitude-frequency characteristics of the «machine-PKS» system during torsional vibrations, where A_1 is the amplitude of the PKS oscillation, A_2 is the amplitude of the machine oscillation, p is the cyclic frequency of the disturbing moment

То же получаем на фрагменте 7 (б) графика системы «машина-ПКС» (рис. 7), когда амплитуда колебания ПКС (A_1) принимает существенные значения, а амплитуда колебания машины (A_2) близка к нулю.

Для подтверждения результатов аналитического решения была разработана физическая модель продольных колебаний системы «машина-дерево-ПКС», которая экспериментально полностью подтвердила правильность формулы, определяющей оптимальную частоту возмущения, показав при этом новый вибрационный эффект [Михитаров и др., 2018].

На основе результатов исследования были предложены конструкции захватного устройства (ЗУ) для корчевания деревьев и пней с применением продольной и крутильной вибрации (рис. 8, 9) [Михитаров и др., 2020]. Данное устройство предназначено для удерживания дерева (пня) манипулятором корчевальной машины за основание боковых корней, в соответствии с математической моделью системы. Такой способ захвата соответствует наиболее эффективному вибрационному воздействию, а также позволяет проводить корчевку как пней, так и деревьев. Также при подъеме корчюемого тела наличие вибрационного оборудования у машины позволяет стряхнуть значительную часть комля земли с корневой системы, а при оснащении ЗУ ножом произвести отсечение корневой системы от основания ствола дерева.

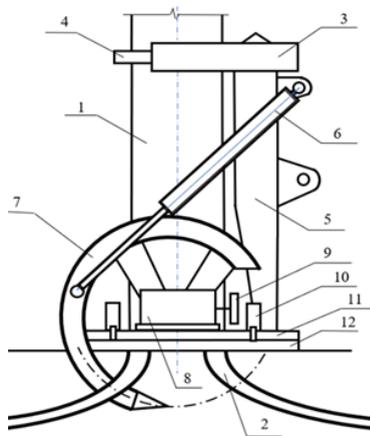


Рис. 8. Схема ЗУ для корчевания с применением продольной вибрации.

Здесь: 1 – ствол, 2 – корневая система, 3 – гидроцилиндр, 4 – зажимной крюк, 5 – вертикальная несущая стойка, 6 – гидроцилиндр, 7 – дугообразный нож, 8 – вибратор, 9 – передаточный механизм, 10 – гидроцилиндр, 11 – горизонтальное основание, 12 – подвижная горизонтальная плита

Fig. 8. Scheme of a gripping device for uprooting by longitudinal vibration.

Here: 1 – trunk, 2 – root system, 3 – hydraulic cylinder, 4 – clamping hook, 5 – vertical support post, 6 – hydraulic cylinder, 7 – arcuate knife, 8 – vibrator, 9 – transmission mechanism, 10 – hydraulic cylinder, 11 – horizontal base, 12 – movable horizontal plate

Причем схема корчевателя с манипулятором дает возможность проведения складирования и погрузки в транспортное средство извлеченного объема остатков рубки.

Результаты исследования. Процесс применения описанной машины принципиально отличается от корчевания традиционными методами и техникой, так как вибрация выполняется перед извлечением комля из грунта и значительно снижает силы сопротивления окружающего грунта. Это позволяет проводить этап извлечения комля под воздействием только его собственного веса и веса пня или дерева.

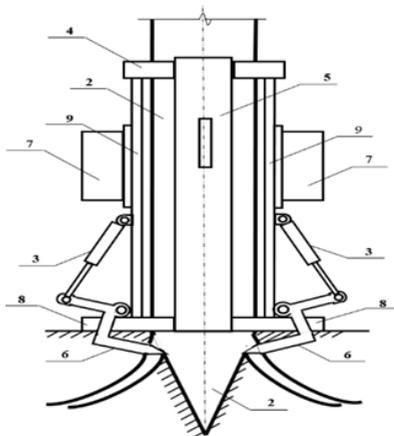


Рис. 9. Схема ЗУ для корчевания с применением крутильной вибрации.

Здесь: 1 – ствол, 2 – подземная часть пня, 3 – гидроцилиндры, 4 – зажимной крюк, 5 – вертикальная несущая стойка, 6 – рычажные клыки, 7 – вибраторы, 8 – горизонтальное основание, 9 – вертикальные ребра жесткости

Fig. 9. Scheme of a gripping device for uprooting by torsional vibrations.

Here: 1 – trunk, 2 – underground part of the stump, 3 – hydraulic cylinders, 4 – clamping hook, 5 – vertical support post, 6 – lever fangs, 7 – vibrators, 8 – horizontal base, 9 – vertical stiffeners

Для сравнения эффективности методов продольного и крутильного вибрационного воздействия предложенной корчевальной машины был выполнен расчет требуемой мощности для корчевания одного модельного дерева (пня).

Сравнение проводилось по требуемой мощности, соответствующей оптимальной частоте возмущающей силы. В том случае, где эта частота меньше, воздействие более эффективно, так как требуется меньшая мощность.

В табл. 1 приведены полученные величины для корчевания деревьев с корнями, а в табл. 2 – для корчевания пней.

Таблица 1

Показатели требуемой мощности и оптимальных частот при продольных и крутильных колебаниях системы «машина-дерево-ПКС»

Indicators of the required power and optimal frequencies for longitudinal and torsional vibrations of the «machine-tree-PKS» system

| Породы деревьев | Продольные колебания | | Крутильные колебания | |
|------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------|
| | Оптимальная частота, p^* , рад/с | Мощность, W , кВт | Оптимальная частота, p^{**} , рад/с | Мощность, W , кВт |
| Сосна | 43,59 | 3,33 | 21,82 | 1,67 |
| Ель | 85,55 | 6,54 | 69,20 | 5,29 |
| Береза | 107,97 | 8,25 | 71,07 | 5,43 |
| Модельное дерево | 74,31 | 5,68 | 44,71 | 3,42 |

Таблица 2

Показатели требуемой мощности и оптимальных частот при продольных и крутильных колебаниях системы «машина-ПКС»

Indicators of the required power and optimal frequencies for longitudinal and torsional vibrations of the «machine-PKS» system

| Порода дерева | Продольные колебания | | Крутильные колебания | |
|----------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|
| | Оптимальная частота, p , рад/с | Мощность, W , кВт | Оптимальная частота, p , рад/с | Мощность, W , кВт |
| Сосна | 43,30 | 3,39 | 21,822 | 1,67 |
| Ель | 84,32 | 6,59 | 69,204 | 5,29 |
| Береза | 106,381 | 8,32 | 71,066 | 5,43 |
| Модельный пень | 73,531 | 5,75 | 44,763 | 3,42 |

По данным табл. 1 и 2 мы видим, что в целом, для корчевания пней сохраняется взаимосвязь затрачиваемой мощности, полученная для корчевания деревьев и выводы также будут справедливы для этого процесса.

Обсуждение. Из полученных результатов следует, что применение крутильной вибрационной схемы более эффективно для сосны и березы, где энергозатраты вибраторов почти вдвое меньше, чем при продольной схеме вибрации, а для ели мы видим, что показатели эффективности продольных колебаний сопоставимы с крутильными колебаниями. Однако при ярко выраженном стержневом корне эффективность продольных колебаний станет выше, чем у крутильных, так как снизится значение жесткости (ПКС).

При выборе метода вибрации с учетом типа корневой системы следует понимать, что для корчевания деревьев и пней со стержневой корневой системой больше подходят продольные колебания, а с поверхностной корневой системой – крутильные. В случае, когда тип корневой системы нельзя охарактеризовать однозначно, эффективность обоих методов не будет заметно отличаться.

Выводы. Анализ полученных результатов исследований подтверждает перспективность применения на лесохозяйственных работах манипуляторных машин, оснащенных технологическим оборудованием для корчевания пней и деревьев посредством вибрационного воздействия.

Установлены рациональные параметры вибрационного оборудования, оптимальные диапазоны соответствующих частот возмущающих усилий продольных и крутильных колебаний для корневых систем наиболее распространенных древесных пород, обеспечивающие наименьшую энергоемкость и соответственно наибольшую эффективность процесса корчевания.

Конфликт интересов. В представленной работе нет конфликта интересов.

Библиографический список

Грэди Р. Хармон, ЛаФайет, Ала. Пат. US4067369А США. Устройство для извлечения всего дерева. Опубликовано 10.01.1978.

Застенский Л.С., Неволин Н.Н. Машины и механизмы лесного хозяйства и их эксплуатация. Вологда: Б.и., 2000. 395 с.

Михитаров А.Р., Хегай В.К. Пат. 200044 Российская Федерация, МПК А 01 G 23/06, 23/08 (2006.01). Вибрационное захватное устройство для корчевания деревьев с выдвигаемыми ножами. 2020.

Скальский М.У. А. С. № 126330 СССР. Виброзахват для корчевания пней / Бюл. № 4. 1960.

Хегай В.К., В.Л., Михитаров А.Р. К вопросу оптимизации динамических характеристик виброкорчевальной машины // Вестник Дагестанского государственного технического университета. 2018. № 2. С. 149–158.

Кегай В.К., Савич В.Л., Михитаров А.Р. О выборе оптимальных параметров виброкорчевальной машины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2015. Вып. 213. С. 173–182.

Кегай В.К., Савич В.Л., Михитаров А.Р. Пат. 180 839 Российская Федерация, МПК51 А01 G23/02. Установка для демонстрации резонансных эффектов с тремя степенями свободы. 2018.

Шегельман И.Р. А. С. № 545293 СССР. Машина для заготовки деревьев с корнями / Бюл. №5. 1977.

Шегельман И.Р. А. С. № 673590 СССР. Грейфер пней / Бюл. № 26. 1979.

Czury I., Horváth-Szováti E. Experimental definition of the primary input of stump extraction and regression analyses of the finding measurement // Hungarian Agricultural Engineering. 2005. 18. P. 64–66.

References

Czury I., Horváth-Szováti E. Experimental definition of the primary input of stump extraction and regression analyses of the finding measurement. *Hungarian Agricultural Engineering*, 2005, no. 18, pp. 64–66.

Grady R. Harmon, LaFayette, Ala. Whole tree extraction device. United States Patent, appl. no.: 646, 465, 1978.

Кегай В.К., Савич В.Л., Михитаров А.Р. К вопросу оптимизации динамических характеристик виброкорчевальной машины [On the issue of optimizing the dynamic characteristics of a vibrouprooting machine]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Dagestan State Technical University]*, 2018, no. 2, pp. 149–158. (In Russ.)

Кегай В.К., Савич В.Л., Михитаров А.Р. О выборе оптимальных параметров виброкорчевальной машины [On the choice of the optimal parameters of the vibrouprooting machine]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*, 2015, no. 213, pp. 148–151. (In Russ.)

Кегай В.К., Савич В.Л., Михитаров А.Р. Установка для демонстрации резонансных эффектов с тремя степенями свободы [Installation for demonstrating resonance effects with three degrees of freedom]. Patent RF, no.180 839, 2018. (In Russ.)

Михитаров А.Р., Кегай В.К. Вибрационное захватное устройство для корчевания деревьев с выдвигаемыми ножами [Vibrating gripper for uprooting trees with retractable knives]. Patent RF, no. 200044, 2020. (In Russ.)

Шегельман И.Р. Грейфер пней [Grab for uprooting stumps]. Patent SSSR, no. 673590, 1979. (In Russ.)

Шегельман И.Р. Машина для заготовки деревьев с корнями [Machine for harvesting trees with roots]. Patent SSSR, no.545293. 1977. (In Russ.)

Скальский М.У. Виброзахват для корчевания пней [Vibrogrip for uprooting stumps]. Patent SSSR, no.126330, 1960. (In Russ.)

Застенский Л.С., Неволин Н.Н. Машины и механизмы лесного хозяйства и их эксплуатация [Machinery and mechanisms of forestry and their operation]. Vologda: B.i., 2000. 395 p. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 22.06.2023

Михитаров А.Р., Добрынин Ю.А. Совершенствование технологического оборудования лесохозяйственной машины с манипулятором для корчевания с применением вибрации // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 247. С. 252–263. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.252-263*

Работа посвящена развитию технологических машин в области лесного хозяйства. Отставание темпов развития лесного машиностроения привело к снижению объемов лесовосстановления и в результате к упадку производства древесины. Проблемы российской лесной отрасли требуют создания высокотехнологичных машин для корчевания. В качестве перспективного направления обозначены вибрационные методы воздействия для облегчения процесса корчевания. Приведены основные этапы развития этого направления и авторы создаваемых машин. Реализация возможностей применения вибрации была осуществлена в концепции корчевальной машины на базе валочной машины на гусеничном ходу с манипулятором, оснащенным захватным устройством с вибрационным оборудованием. При использовании типа вибрации были рассмотрены два варианта – это вертикальные продольные и крутильные колебания. Эффективность данной концепции машины обоснована с помощью аналитического и экспериментального исследования, результатом чего было получение оптимальных интервалов возмущающих частот. Так как при работе машины необходимы значительные усилия, то используемое в ЛП-19 захватное устройство не могло подойти, и возникла необходимость в создании специальной конструкции захватного устройства. Были предложены две конструкционные схемы для применения продольной и крутильной вибрации данной машиной. Выполнен сравнительный анализ эффективности применения продольной и крутильной вибрации при корчевании, результаты представлены в таблице мощностей. По итогам работы сделаны следующие выводы: предложенная конструкция машины для корчевания с вибрацией полностью реализует преимущества математической модели, при которой вибрационное воздействие достигает максимальной эффективности; позволяет корчевать и деревья и пни; является универсальной, так как может производить корчевание, складирование и погрузку продукции на транспорт, а также очистку корневой системы от грунта после извлечения комля с помощью вибрации.

Ключевые слова: лесовосстановление, рубки ухода, корчеватель, валочная машина, вибрационное воздействие, почвенно-корневая система, захватное устройство, универсальность, эффективность.

Mikhitarov A.R., Dobrynin Yu.A. Improving the technological equipment of a forestry machine with a manipulator for uprooting using vibration. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoi Akademii*, 2024, iss. 247, pp. 252–263 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.247.252-263

The work is devoted to the development of technological machines in the field of forestry. The lagging behind in the development of forestry has led to a decrease in

reforestation and, as a result, to a decline in timber production. The problems of the Russian timber industry complex require the creation of high-tech machines for uprooting. As a promising direction to facilitate the uprooting process, vibration methods of influence are indicated. The main stages of development of this direction and the authors of the created machines are given. The implementation of the possibilities of using vibration is carried out in the concept of a rooting machine based on a caterpillar felling unit with a manipulator equipped with a gripping device with vibration equipment. When choosing the type of vibration, two options were considered – these are vertical longitudinal and torsional vibrations. The effectiveness of the concept of this machine is confirmed by analytical and experimental studies. The result was the obtaining of optimal intervals of disturbing frequencies. Since the machine is subjected to heavy loads, the gripper used in the LP-19 did not fit and it became necessary to create a special design of the gripper. To apply longitudinal and torsional vibrations to this machine, two design schemes were used. A comparative analysis of the effectiveness of the use of longitudinal and torsional vibrations during uprooting was carried out, the results are presented in the power table. Based on the results of the work, the following conclusions were drawn: the proposed design of the machine for uprooting with vibration fully realizes the advantages of the mathematical model, in which the vibration effect reaches its maximum efficiency; allows you to uproot trees and stumps; is universal, as it can carry out uprooting, storage and loading of products for transport, as well as cleaning the root system from the soil after extracting the butt using vibration.

Key words: reforestation, thinning, uprooting of stumps and trees, feller, vibration impact, soil-root system, capture, versatility, efficiency.

МИХИТАРОВ Александр Рафаилович – старший преподаватель кафедры механики Ухтинского государственного технического университета. SPIN-код 5951-3541.

169300, ул. Первомайская, д. 13, г. Ухта, Россия. E-mail: maxfkh@yandex.ru

MIKHITAROV Alexander R. – Senior Lecturer, Department of Mechanics, Ukhhta State Technical University. SPIN-code: 5951-3541.

169300. Pervomaiskaya str. 13. Ukhta. Russia. E-mail: maxfkh@yandex.ru

ДОБРЫНИН Юрий Андреевич – профессор Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия.

DOBRYNIN Yuri A. – DSc (Technical), Professor of the St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institutsky lane 5. St. Petersburg, Russia.