

2. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЛЕСОЗАГОТОВОК

УДК 621.865.8:625.8:630*36

С.Е. Анисимов, Е.М. Царев, К.П. Рукомойников, И.С. Анисимов,
Н.С. Анисимов, В.Е. Макаров

МНОГОЗВЕННЫЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ МАНИПУЛЯТОР ДЛЯ РУБОК УХОДА ЗА ЛЕСОМ

Введение. На сплошных рубках и рубках ухода по сортиментным технологиям непосредственно у пня возможны три принципиально отличающиеся группы способов заготовки сортиментов: во-первых, группа способов, основанная на принципе действия скандинавских харвестерных машин; во-вторых, способы с протаскиванием ствола через процессорную головку вниз с использованием собственного веса; в-третьих, варианты сортиментной обработки деревьев сверху вниз.

Сущность способа обработки деревьев сверху вниз заключается в многоступенчатой раскряжке деревьев по высоте, заканчивающейся отделением дерева от пня [Анисимов, 2000; Анисимов, Мазуркин, 2003]. Для этого необходимо оснастить валочно-пакетирующую машину специальным многозвенным комбинированным манипулятором (рис. 1).

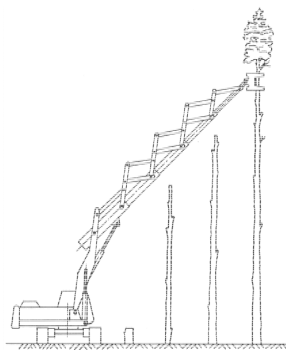


Рис. 1. Валочно-пакетирующая машина со специальным манипулятором
Fig. 1. The felling-bagging machine with a special manipulator

Материалы и методика исследования. Целью исследований является создание многозвенного комбинированного манипулятора с выдвиганием рабочего органа до 18 м при проведении рубок прореживания и проходных и 12,5 м – при сплошных рубках [Алябьев и др., 2020; Шегельман, Будник, 2011; Швец, 2009] (рис. 2). Для пояснения рис.2 использованы следующие условные обозначения: 1 – центр поворота платформы валочно-пакетирующей машины (ВПМ), 2 – пасака, 3 – граница рабочей зоны манипулятора для обоих волоков, 4 – верхняя граница высоты поднятия манипулятора, 5 – теоретический график изменения высоты срезки с грузовым моментом манипулятора 270 кН·м для ВПМ типа ЛП-19В, 6 – первая ступень срезки верхней части деревьев с кроной, 7 – вторая ступень срезки двух частей растущего дерева (верхняя часть с кроной, а затем сортимент длиной 5-6 м), 8 – третья (нижняя) ступень срезки комлевых сортиментов с оставлением пней.

В ходе исследований были проанализированы пути решения поставленной задачи. Рассмотрен вариант изменения длины рукояти сменного манипуляторного оборудования [Бартенев и др., 2011; Кононович и др., 2015; Патент..., 2021; Huang и Yao, 1999; Xu и др., 2020; Kong и Gosselin, 2001; Матвеевко, 2021].

Предложена конструкция многозвенного комбинированного манипулятора, структурно-компоновочная схема которого, представлена на рис. 3,а) и его модель (рис. 3 б), выполненная в масштабе 1:10.

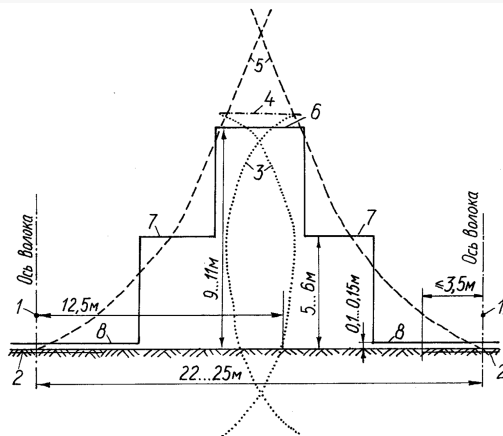


Рис. 2. Схема выдвигания рабочего органа при сплошных рубках и рубках ухода

Fig. 2. The scheme of the extension of the working body in continuous logging and care cabins

Многозвенный комбинированный манипулятор состоит из стрелы 1, подъем и опускание которой осуществляется гидроцилиндром 2. Телескопическая рукоять включает в себя неподвижное основание 3, подвижные секции шарнирно-сочлененной фермы 4, 5 и 6. Динамическое изменение длины осуществляется за счет поворотных 11 и толкающих рычагов 9, 10. Гидроцилиндр 12 осуществляет поворот корпуса телескопической рукояти 3 и срезающего органа 13 в вертикальной плоскости. Механизм совмещения движения рукояти и выдвижения срезающего органа состоит из тяги 8 и гуська стрелы 7. Дополнительные звенья 14, образуют с звеньями 9 пантографные механизмы выдвижения подвижных звеньев телескопической рукояти.

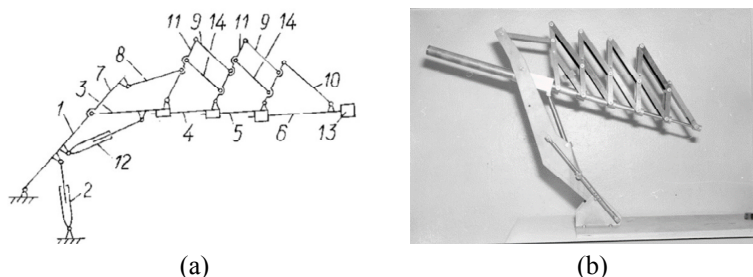


Рис. 3. Многозвенный комбинированный манипулятор:

- (а) кинематическая схема манипулятора с пантографными механизмами;
- (б) модель многозвенного комбинированного манипулятора

Fig. 3. Multi-link combined manipulator: (a) kinematic diagram of a manipulator with pantograph mechanisms; (b) model of a multi-link combined manipulator

Проектирование манипуляторного оборудования состоит из нескольких этапов [Алябьев и др., 2020; Черник, Смирнов, 2009; Huynh и др., 2020; Karkalos и др., 2017; Nof, 1999].

Рассмотрим данные этапы проектирования применительно к предложенной конструкции многозвенного комбинированного манипулятора.

1. Постановка задачи поиска технического решения. В настоящее время рубки ухода в молодняках (осветления и прочистки) выполняются вручную с использованием топоров и моторных кусторезов. В то же время ежегодно нарастают объемы работ на рубках ухода (прореживания и проходных рубках), увеличиваются площади естественных хвойно-лиственных молодняков. Поэтому, при проведении этих рубок, одной из задач лесного машиностроения становится создание маневренных работоспособных манипуляторов со значительным вылетом рабочего органа.

2. Техническое задание на проектирование. Исходя из технических возможностей транспортно-технологического модуля лесозаготовительной машины, например, валочно-пакетирующей машины ЛПП-19В, необходимо серийный шарнирно-сочлененный манипулятор с вылетом до 10 м модульно оснастить многозвенным комбинированным манипулятором с вылетом до 18 м, для обеспечивающим обработку лиственных деревьев на пасаках шириной не менее 25 м, грузоподъемностью 8 кН и грузовым моментом 144 кН·м.

3. Разработка компоновочно-кинематической схемы как минимум для трех случаев: на максимальном вылете манипулятора; на промежуточном вылете манипулятора; на минимальном вылете манипулятора.

4. Структурный анализ манипулятора проводится для проверки работоспособности манипулятора в целом.

Результаты исследования. При проведении структурного анализа конструкции манипулятора были сделаны следующие допущения [Ермалицкий, 2010; Полетайкин, Иванов, 2017; Jagdish, 2011]:

- звенья механизма являются абсолютно твердыми телами;
- отсутствуют зазоры в подвижных соединениях звеньев;
- не учитывается собственная степень свободы захватно-срезающего устройства;
- движение рассматривается без учета боковых колебаний, только в вертикальной плоскости и совершает сложное плоско – параллельное движение.

Примем следующие условные обозначения: ВППК – вращательная пара пятого класса; ПППК – поступательная пара пятого класса.

Были проведены и экспериментальные исследования предложенной конструкции манипулятора.

Для эксперимента использовалась модель манипулятора (масштаб 1:10). Для возможности быстрого изменения положения конструкции шарнирно-сочлененной фермы и ее фиксации использовался раздвижной стержень со ступенчатым фиксатором (шаг фиксации 5 мм), имитирующий работу гидроцилиндров манипулятора.

Изменение положения координаты конца телескопической рукояти модели манипулятора фиксировалось на фоне масштабной сетки [Добрачев и др., 2008; Емтыль, 2002; Ермалицкий, 2010].

Структурно-кинематическая схема предложенного многозвенового комбинированного манипулятора представлена на рис. 4. Число, класс и вид каждой кинематической пары представлен в табл. 1.

В целом данный манипулятор имеет 41 кинематическую пару пятого класса, из них 34 – вращательных и 7 – поступательных.

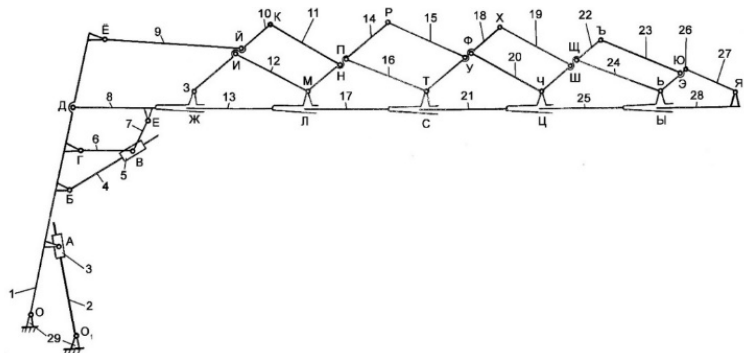


Рис. 4. Структурно-кинематическая схема многосвязного комбинированного манипулятора; 1...28 – звенья манипулятора
Fig. 4. Structural and kinematic scheme of a multi-link combined manipulator; 1...28 – links of the manipulator

Таблица 1

Кинематические пары
Kinematic pairs

$A_1 (2,3) - \text{ПППК}$	$B (4,5) - \text{ПППК}$	$Ж (8,13) - \text{ПППК}$
$Л (13,17) - \text{ПППК}$	$С (17,21) - \text{ПППК}$	$Ц (21,25) - \text{ПППК}$
$Ы (25,28) - \text{ПППК}$	$A_2 (1,3) - \text{ВППК}$	$О (1,29) - \text{ВППК}$
$О_1 (2,29) - \text{ВППК}$	$Б (1,4) - \text{ВППК}$	$Г (1,6) - \text{ВППК}$
$B_1 (5,6) - \text{ВППК}$	$B_2 (5,7) - \text{ВППК}$	$B_3 (6,7) - \text{ВППК}$
$Е (7,8) - \text{ВППК}$	$Д (1,8) - \text{ВППК}$	$Ё (1,9) - \text{ВППК}$
$З (8,10) - \text{ВППК}$	$И (10,12) - \text{ВППК}$	$Й (9,10) - \text{ВППК}$
$К (10,11) - \text{ВППК}$	$М_1 (12,13) - \text{ВППК}$	$М_2 (12,14) - \text{ВППК}$
$М_3 (13,14) - \text{ВППК}$	$Н (11,14) - \text{ВППК}$	$П (14,16) - \text{ВППК}$
$Р (14,15) - \text{ВППК}$	$Т_1 (16,18) - \text{ВППК}$	$У (16,18) - \text{ВППК}$
$Т_2 (16,17) - \text{ВППК}$	$Т_3 (17,18) - \text{ВППК}$	$Ф (18,20) - \text{ВППК}$
$Х (18,19) - \text{ВППК}$	$Ч_1 (20,21) - \text{ВППК}$	$Ч_2 (20,22) - \text{ВППК}$
$Ч_3 (21,22) - \text{ВППК}$	$Ш (19,22) - \text{ВППК}$	$Щ (22,24) - \text{ВППК}$
$Ъ (22,23) - \text{ВППК}$	$Ы_1 (24,25) - \text{ВППК}$	$Ы_2 (24,26) - \text{ВППК}$
$Ы_3 (25,26) - \text{ВППК}$	$Э (23,26) - \text{ВППК}$	$Ю (26,27) - \text{ВППК}$
$Я (27,28) - \text{ВППК}$		

Примечание: в скобках указаны номера звеньев, образующих кинематическую пару. Причем кинематические пары А и В образуют несколько пар: $A_1, A_2, B_1, B_2, B_3, M_1, M_2, M_3, T_1, T_2, T_3, Ч_1, Ч_2, Ч_3, Ы_1, Ы_2, Ы_3$.

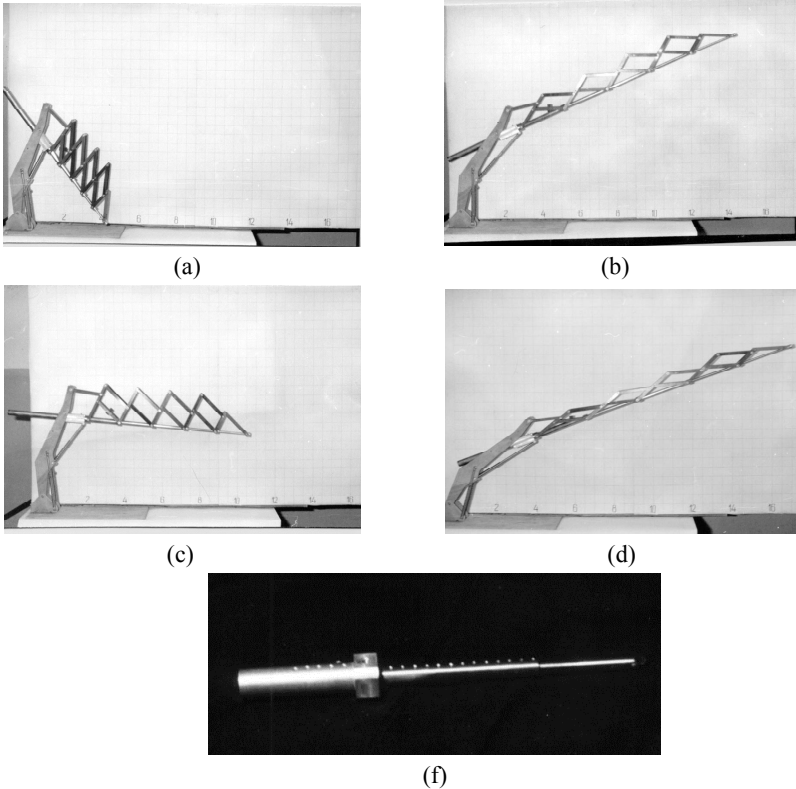


Рис. 5. Фрагменты структурных исследований модели многозвенного комбинированного манипулятора: (а) – минимальный вылет; (b), (c) – промежуточные вылеты; (d) – максимальный вылет; (f) – раздвижной стержень (имитация гидроцилиндра)

Fig. 5. Fragments of structural studies of the multi-link combined manipulator model: (a) – minimum departure; (b), (c) – intermediate departures; (d) – maximum departure; (f) – sliding rod (imitation of a hydraulic cylinder)

Определим число степеней свободы манипулятора по формуле Чебышева:

число степеней свободы данного манипулятора равно:

$$W = 3 \cdot 28 - 2 \cdot 41 = 2. \quad (2)$$

То есть, рассматриваемая кинематическая цепь данного манипулятора обладает двумя степенями свободы, что соответствует числу приводов, обеспечивающих работоспособность данного манипулятора.

Фото фрагментов структурных исследований модели манипулятора представлены на рис. 5. Результаты экспериментальных наблюдений на модели сведены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты экспериментальных структурных исследований
на модели многозвенного комбинированного манипулятора**

**The results of experimental structural studies on the model
of a multi-link combined manipulator**

№ отверстия	Вылет манипулятора, м	Величина выдвижения раздвижного стержня, мм
1	4,8	5
2	6,0	10
3	7,2	15
4	8,4	20
5	9,6	25
6	10,8	30
7	12,0	35
8	13,2	40
9	14,4	45
10	15,6	50
11	16,8	55
12	18,0	60

Заключение. Подводя итоги описанным выше результатам, можно отметить, что в настоящее время в машиностроении при проектировании манипуляторов лесных машин (в частности, телескопических и комбинированных) для выдвижения рабочего (или исполнительного) органа на значительное расстояние свыше 12,5 м используются гидроцилиндры и канатно-блочные системы. Общими недостатками которых является то, что транспортно-энергетический модуль не является унифицированным, а требует его модернизации, усложнения. А использование шарнирно-сочлененной фермы в качестве механизма выдвижения подвижных секций создает условия для увеличения вылета манипулятора с сохранением транспортно-энергетического модуля унифицированным.

На основе проведенных структурных анализов кинематических схем многозвенных комбинированных манипуляторов было найдено решение конструкции шарнирно-сочлененной фермы телескопической рукояти манипулятора за счет добавления дополнительных рычагов, образующих пантографные механизмы выдвижения подвижных секций.

Структурный анализ показал, что предложенная структура манипулятора с пантографным механизмом выдвижения подвижных секций телескопической рукояти является работоспособной. При работе манипулятора описанной конструкции обеспечивается вылет рабочего органа манипулятора на заданную длину (18 м) и требуемая точность доставки рабочего органа в заданное место. Длины выдвижения секций рукояти одинаковы при различных значениях вылета (1,2 м);

Вклад авторов. Статья подготовлена с равной долей участия всех авторов.

Сведения о финансировании исследования. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00129, <https://rscf.ru/project/24-26-00129/>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Алябьев А.Ф., Котиев Г.О., Караваев А.М. Разработка требований назначения к технологическому оборудованию лесной погрузочно-транспортной машины // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 164. С. 86–100.

Анисимов С.Е. Обоснование конструкции и параметров манипулятора машины для рубок прореживания и проходных: дисс. ... канд. техн. наук. Йошкар-Ола, 2000. 240 с.

Анисимов С.Е., Мазуркин П.М. Многозвенные манипуляторы: научное издание / М-во образования Рос. Федерации, Мар. гос. техн. ун-т. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. 73 с.

Бартенев И.М., Емтыль З.К., Татаренко А.П., Драпалюк М.В., Попиков П.И., Бухтояров Л.Д. Гидроманипуляторы и лесное технологическое оборудование. М.: ООО «ФЛИНТА», 2011. 408 с.

Добрачев А.А., Раевская Л.Т., Швец А.В. Исследование кинематики работы звеньев манипулятора в обобщенном виде // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2008. № 3. С. 118–121.

Емтыль З.К. Совершенствование кинематики, динамики и конструкции лесопромышленных гидроманипуляторов: дисс. ... д-ра техн. наук. Воронеж, 2002. 439 с.

Ермалицкий А.А. Результаты экспериментальных исследований процесса погрузки сортиментов навесными гидроманипуляторами // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2010. № 2. С. 65–70.

Кононович Д.А., Мохов С.П., Арико С.Е., Голякевич С.А. Особенности конструкционного исполнения технологического оборудования лесных погрузочно-транспортных машин // Труды БГТУ. 2015. № 2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. № 2(175). С. 59–62.

Матвеев В.И. Погрузочно-разгрузочный манипулятор // Инновационное развитие подъемно-транспортной техники: матер. Всерос. науч.-практич. конференции, Брянск, 27–28 мая 2021 года, Брянск: БГТУ, 2021. С. 93–100.

Патент № 2768059 РФ, МПК В66С 23/44. Кран-манипулятор с расширенной зоной действия: № 2021127721 / И.А. Несмиянов, М.Е. Николаев, В.В. Жога; заявл. 20.09.2021; опублик. 23.03.2022.

Полетайкин В.Ф., Иванов С.Г. Расчетная схема технологического оборудования лесных машин. Лесной и химический комплексы – проблемы и решения : сб. матер. по итогам Всерос. науч.-практич. конференции. Красноярск: СибГТУ, 2017. С. 256–258.

Черник А.В., Смирнов Н.А. Кинематический и динамический расчёт сбалансированного манипулятора методами САПР // Механики XXI века. 2009. № 8. С. 71–74.

Швец А.В. Обоснование основных параметров манипулятора для лесной промышленности // Леса России в XXI веке: матер. Первой Междунар. науч.-практич. интернет-конференции, Санкт-Петербург, 30 июня 2009 года. СПб.: СПбГЛТУ, 2009. С. 222–225.

Шегельман И.Р., Будник П.В. Обоснование вылета манипулятора и режимов работы валочно-трелевочно-процессорной машины // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2011. № 4(117). С. 81–83.

Huang Z., Yao Y.L. A new closed-form kinematics of the generalized 3-dof spherical parallel manipulator // Robotica. 1999. Vol. 17, no. 5. P. 475–485.

Huynh H. et al. Modelling the dynamics of industrial robots for milling operations // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2020. Vol. 61. P. 16.

Jagdish Dr., Prajapati M. et al. Synthesis of Parallel Mechanism Based Robot Manipulators from Structural Point of View // International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST). 2011. Vol. 3, no. 2. P. 1228–1232.

Karkalos N.E., Markopoulos A.P., Dossis M.F. Optimal model parameters of inverse kinematics solution of a 3r robotic manipulator using and models // International journal of manufacturing, materials, and mechanical engineering. 2017. Vol. 7, no. 3. P. 20–40.

Kong X., Gosselin C. Generation of parallel manipulators witch three translational degrees of freedom based on screw theory // Proceedings of 2001 CCToMMSyn-posium on Mechanisms, Machines and Mechatronics. Saint-Hubert, Montreal, Canada. 2001.

Nof S. Y. Handbook of Industrial Robotics. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1999. P. 1378.

Xu P. et al Novel hybrid robot and its processes for precision polishing of freeform surfaces // Precision Engineering. 2020. Vol. 64. P. 53–62.

References

Alyabiev A.F., Kotiev G.O., Karavaev A.M. Development of destination requirements for technological equipment for a forest loading and transport vehicle. *Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University], 2020, no. 164, pp. 86–100. URL: <https://doi.org/10.21515/1990-4665-164-006> (In Russ.)

Anisimov S.E. Substantiation of the design and parameters of the machine manipulator for thinning and walk-through fellings: Cand. Sci. Diss. Yoshkar-Ola, 2000. 240 p. (In Russ.)

Anisimov S.E., Mazurkin P.M. Multi-link manipulators: scientific publication / Ministry of Education Ros. Federation, Mar. state tech. un-t. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2003. 73 p. (In Russ.)

Bartenev I.M., Emtyl Z.K., Tatarenko A.P., Drapalyuk M.V., Popikov P.I., Bukhtoyarov L.D. Hydraulic manipulators and forest processing equipment. M.: Limited Liability Company «FLINTA», 2011. 408 p. (In Russ.)

Chernik A.V., Smirnov N.A. Kinematic and dynamic calculation of a balanced manipulator by CAD methods. *Mechanics of the XXI century*, 2009, no. 8, pp. 71–74. (In Russ.)

Dobrachev A.A., Raevskaia L.T., Shvets A.V. Study of the kinematics of the operation of the manipulator links in a generalized form. *Lesnoj vestnik* [Forestry Bulletin], 2008, no. 3, pp. 118–121. (In Russ.)

Emtyl Z.K. Improvement of kinematics, dynamics and design of forestry hydraulic manipulators: Doc. Sci. Diss. Voronezh, 2002. 439 p. (In Russ.)

Ermalitsky A.A. The results of experimental studies of the process of loading assortments by mounted hydraulic manipulators. *Works BSTU: Forest and wood industry*, 2010, no. 2, pp. 65–70. (In Russ.)

Huang Z., Yao Y.L. A new closed-form kinematics of the generalized 3-dof spherical parallel manipulator. *Robotica*, 1999, vol. 17, no. 5, pp. 475–485.

Huynh H. et al. Modelling the dynamics of industrial robots for milling operations. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2020, vol. 61, p. 16.

Jagdish Dr., Prajapati M. et al. Synthesis of Parallel Mechanism Based Robot Manipulators from Structural Point of View. *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 2011, vol. 3, no. 2, pp. 1228–1232.

Karkalos N.E., Markopoulos A.P., Dossis M.F. Optimal model parameters of inverse kinematics solution of a 3r robotic manipulator using and models. *International journal of manufacturing, materials, and mechanical engineering*, 2017, vol. 7, no. 3, pp. 20–40.

Kong X., Gosselin C. Generation of parallel manipulators witch three translational degrees of freedom based on screw theory, *Proceedings of 2001 CCToMMSyn-posium on Mechanisms, Machines and Mechatronics*. Saint-Hubert, Montreal, Canada, 2001.

Kononovich D.A., Mokhov S.P., Ariko S.E., Golyakevich S.A. Features of the structural design of the technological equipment of forest loading and transport vehicles. *Works BSTU: Forest and wood industry*, 2015, no. 2 (175), pp. 59–62. (In Russ.)

Matveenko V.I. Loading and unloading manipulator. *Innovative development of material handling equipment: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference*, Bryansk, May 27–28, 2021, 2021. pp. 93–100. (In Russ.)

Nesmiyanov I.A., Nikolaev M.E., Zhoga V.V. Extended reach crane. Patent RF, no. RU 2768059 C1, 2021. (In Russ.)

Nof S.Y. Handbook of Industrial Robotics. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1999, p. 1378.

Poletaykin V.F., Ivanov S.G. Settlement scheme of processing equipment of forest cars. *Forest and chemical complexes – problems and solutions: Collection of materials on the results of the All-Russian scientific and practical conference*. Krasnoyarsk: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Publ., 2017, pp. 256–258. (In Russ.)

Shegelman I. R., Budnik, P.V. Justification of the departure of the manipulator and the modes of operation of the feller-logging-processor machine. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta [Scientific notes of Petrozavodsk State University]*, 2011, no. 4(117), pp. 81–83. (In Russ.)

Shvets A.V. Justification of the main parameters of the manipulator for the timber industry. *Forests of Russia in the 21st century: materials of the First international scientific and practical Internet conference*, St. Petersburg, June 30, 2009, pp. 222–225. (In Russ.)

Xu P. et al Novel hybrid robot and its processes for precision polishing of freeform surfaces. *Precision Engineering*, 2020, vol. 64, pp. 53–62.

Материал поступил в редакцию 01.02.2024

Анисимов С.Е., Царев Е.М., Рукомойников К.П., Анисимов И.С., Анисимов Н.С., Макаров В.Е. Многозвенный комбинированный манипулятор для рубок ухода за лесом // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 250. С. 238–251. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.232-251

В статье рассмотрены варианты модернизации конструкции манипулятора лесозаготовительной машины для реализации способа обработки деревьев сверху вниз путем многоступенчатой раскряжевки деревьев по высоте, заканчивающейся отделением дерева от пня. Целью исследований являлась разработка и анализ конструкции многозвенного комбинированного манипулятора с выдвижением рабочего органа на расстояние достигающее 18 м. Были предложены конструкции манипулятора с модернизацией шарнирно-сочлененной фермы путем ввода дополнительных звеньев и образованием пантографных механизмов. Показаны структурно-кинематические схемы двух вариантов многозвенных комбинированных манипуляторов. Представлены экспериментальные модели

предложенных конструкций многозвенных комбинированных манипуляторов с изменением их длины. Приводятся фотографии физических моделей экспериментальных манипуляторов, собранных для доказательства полученных теоретических результатов. Для эксперимента использовались модели манипуляторов масштабом 1:10. Для возможности быстрого изменения положения конструкции шарнирно-сочлененной фермы и ее фиксации использовался раздвижной стержень со ступенчатым фиксатором (шаг фиксации 5 мм), имитирующий работу гидроцилиндров манипулятора. На основе проведенных структурных анализов кинематических схем многозвенных комбинированных манипуляторов было найдено решение конструкции шарнирно-сочлененной фермы телескопической рукояти манипулятора за счет добавления дополнительных рычагов, образующих пантографные механизмы выдвижения подвижных секций. Путем математических расчетов доказано, что использование шарнирно-сочлененной фермы в качестве механизма выдвижения подвижных секций создает условия для увеличения вылета манипулятора с сохранением транспортно-энергетического модуля унифицированным без применения дополнительных гидроцилиндров и канатно-блочных систем. Структурный анализ показал, что предложенная структура манипулятора с пантографным механизмом выдвижения подвижных секций телескопической рукояти является работоспособной.

Ключевые слова: многозвенный манипулятор, комбинированный манипулятор, шарнирно-сочлененная ферма, структурный анализ, сортиментная технология.

Anisimov S.E., Carev E.M., Rukomojnikov K.P., Anisimov I.S., Anisimov N.S., Makarov V.E. Multi-link combination manipulator for care thinning. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2024, iss. 250, pp. 238–251 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.238-251

The article considers options for modernizing the design of the manipulator of a logging machine to implement a method of processing trees upside down by multi-stage bucking of trees in height, ending with the separation of the tree from the stump. The purpose of the research was to develop and analyze the design of a multi-link combined manipulator with the extension of the working body to a distance of more than 18 m. Manipulator designs were proposed with the modernization of the articulated truss by introducing additional links and the formation of pantograph mechanisms. The structural and kinematic schemes of two variants of multi-link combined manipulators are shown. Experimental models of the proposed designs of multi-link combined manipulators with a change in their length are presented. Photographs of physical models of experimental manipulators collected to prove the theoretical results are presented. Models of manipulators with scale of 1:10 were used for the experiment. For the possibility of quickly changing the position of the articulated truss structure and fixing it, a sliding rod with a stepped retainer (fixing

step of 5 mm) was used, simulating the operation of the manipulator hydraulic cylinders. Based on the structural analyses of kinematic schemes of multi-link combined manipulators, a solution was found to the design of the articulated truss of the telescopic arm of the manipulator by adding additional levers forming pantographic mechanisms for extending movable sections. It is proved by mathematical calculations that the use of an articulated truss as a mechanism for extending movable sections creates conditions for increasing the output of the manipulator while maintaining a unified transport and energy module without the use of additional hydraulic cylinders and rope-block systems. Structural analysis has shown that the proposed structure of the manipulator with a pantograph mechanism for extending the movable sections of the telescopic handle is workable.

Keywords: multi-link manipulator, combined manipulator, articulated truss, structural analysis, assortment technology.

АНИСИМОВ Сергей Евгеньевич – доцент Поволжского государственного технологического университета, кандидат технических наук. SPIN-код: 4102-7819. ORCID: 0000-0003-3332-0927,

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия. E-mail: anisimovsevolgatech@mail.ru

ANISIMOV Sergey E. – PhD (Technical), Associate Professor, Volga State University of Technology. SPIN-code: 4102-7819. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3332-0927>.

424000. Lenin sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: anisimovsevolgatech@mail.ru

ЦАРЕВ Евгений Михайлович – профессор кафедры лесопромышленных и химических технологий Поволжского государственного технологического университета, доцент, доктор технических наук. SPIN-код: 3117-8576. ORCID: 0000-0001-5695-3028.

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

TSAREV Evgeny M. – DSc (Technical), Professor of the Department of Forestry and Chemical Technologies of the Volga State University of Technology. SPIN-code: 3117-8576. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5695-3028>.

424000. Lenin sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: carevEM@volgatech.net

РУКОМОЙНИКОВ Константин Павлович – профессор кафедры лесопромышленных и химических технологий Поволжского государственного технологического университета, доктор технических наук, доцент. SPIN-код: 9119-8261. ORCID: 0000-0002-9956-5081.

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

RUKOMOJNIKOV Konstantin P. – DSc (Technical), Professor of the Department of Forestry and Chemical Technologies of the Volga State University of Technology, Associate Professor. SPIN-code: 9119-8261. ORCID: 0000-0002-9956-5081.

424000. Lenin sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: rukomojnikovkp@volgatech.net

АНИСИМОВ Илья Сергеевич – студент Поволжского государственного технологического университета. ORCID: 0000-0002-9528-8988.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия. E-mail: kukri-machete-00@mail.ru

ANISIMOV Ilya S. – student of the Volga State University of Technology. ORCID: 0000-0002-9528-8988.

424000. Lenin sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: kukri-machete-00@mail.ru

АНИСИМОВ Никита Сергеевич – студент Поволжского государственного технологического университета. ORCID: 0000-0001-8465-261X.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия. E-mail: nikita_anisimov2000@mail.ru

ANISIMOV Nikita S. – student of the Volga State University of Technology. ORCID: 0000-0001-8465-261X.

424000. Lenin sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: nikita_anisimov2000@mail.ru

МАКАРОВ Владимир Евгеньевич – заместитель директора института механики и машиностроения Поволжского государственного технологического университета,. ORCID: 0000-0003-2564-0832.

424000, пл. Ленина, д. 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия. E-mail: ooo.mcps.13@mail.ru

MAKAROV Vladimir E. – Deputy Director of the Institute of Mechanics and Mechanical Engineering of the Volga State University of Technology. ORCID: 0000-0003-2564-0832.

424000. Lenin sq. 3. Yoshkar-Ola. Russia. E-mail: ooo.mcps.13@mail.ru