

В.А. Грязин, И.Н. Багаутдинов, Я.И. Шестаков, А.Р. Галяутдинов

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ВАЛОЧНОЙ ГОЛОВКИ С ФРЕЗОЙ ВАЛОЧНО-ПАКЕТИРУЮЩЕЙ МАШИНЫ

Введение. В настоящий момент, для выполнения лесозаготовительных работ используются валочно-пакетирующие и валочно-сучкорезно-раскряжевные машины с шарнирно-сочлененным гидрофицированным манипулятором. При этом особенности многообразия природно-производственных условий стимулируют разработчиков как искать новые решения в конструкции навесного оборудования, так и совершенствовать системы управления. Последнее особенно актуально при использовании лесозаготовительных машин при работе на мелколесье [Долматов, 2022].

При использовании валочной головки с фрезой и накопителем деревьев [Лестехком] ООО «Лестехком», г. Йошкар-Ола, использует специальное техническое решение – дивертор. Данное устройство обеспечивает автоматизированное совмещение поршневых и штоковых полостей гидроцилиндров манипулятора ВПМ ЛП-19 таким образом, что оператору достаточно управлять только перемещением стрелы. Рукоять движется самостоятельно, обеспечивая перемещение навесного оборудования параллельно поверхности. Такое техническое решение может оказаться востребованным и для других производителей.

Целью работы является расширение функциональных возможностей ВПМ с шарнирно-сочлененным гидрофицированным манипулятором для обеспечения плоскопараллельного движения валочной головки с фрезой.

Итогом выполнения работ является результаты математического моделирования манипулятора ВПМ John Deere серии 800М и требования к гидروприводу.

Методика исследования. Основой математической модели является компоновочно-кинематическая схема шарнирно-сочлененного гидрофицированного манипулятора ВПМ John Deere серии 800М (рис. 1). Для удобства восприятия система отсчета модели сопряжена с осью шарнира крепления манипулятора на платформе.

Текущие размеры (длина) приводных гидроцилиндров обозначены на схеме l_1 и l_2 . Плечи подвеса гидроцилиндров a , e , c , d и f принимаются от осей OA , AB и BC .

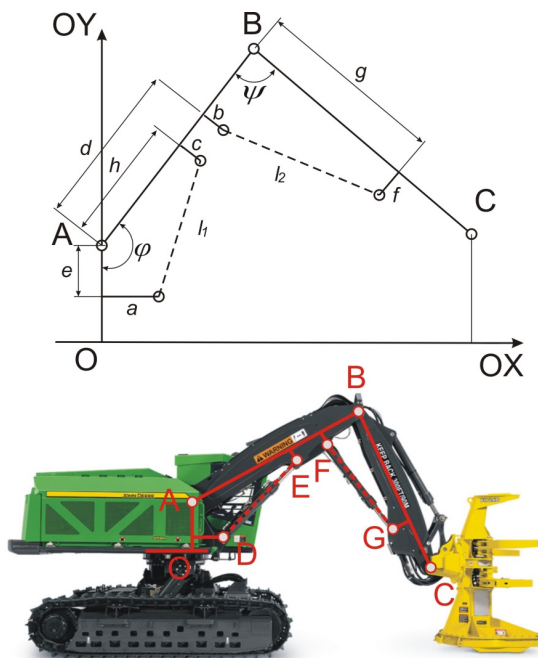


Рис. 1. Расчетная схема ВПМ John Deere серии 800М

Fig. 1. Design scheme of John Deere 800M-Series tracked feller bunchers

Отличие от аналогичной схемы ВПМ типа ЛП-19 (рис. 2) очевидно:

1) гидроцилиндры подъема/опускания стрелы ВПМ типа ЛП-19 корпусным подвесом крепятся на платформе ВПМ, а штоковый подвес – на оси стрелы манипулятора. У John Deere серии 800М штоковый подвес расположен на специальном выступе стрелы;

2) гидроцилиндры подъема/опускания рукояти ВПМ типа ЛП-19 корпусным подвесом крепятся к нижней части стрелы манипулятора, а штоковый подвес – ближе к основанию рукояти. У John Deere серии 800М, корпусной подвес расположен на специальном выступе стрелы, а штоковый – ближе к захватно-срезающему устройству.

Перемещение свободного конца шарнирно-сочлененного гидрофицированного манипулятора обеспечивается управлением потоком жидкости, следовательно, задачей исследования является определение зависимости между плоскопараллельным движением точки C и длинами гидроцилиндров подъема/опускания стрелы l_1 и подъема/опускания рукояти l_2 .

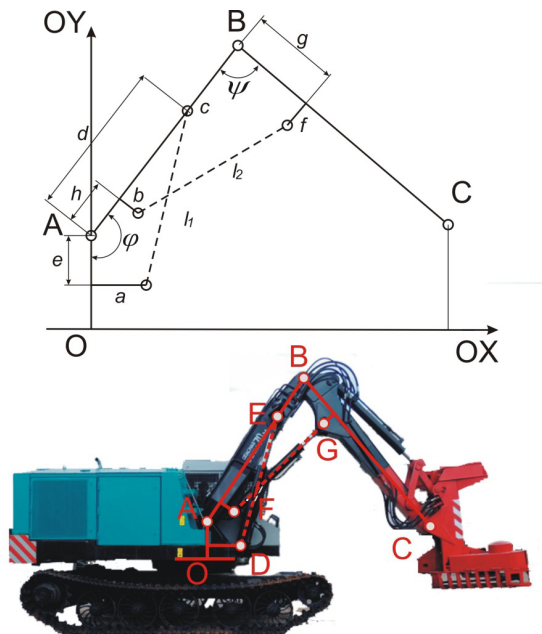


Рис. 2. Расчетная схема ВПМ ЛП-19

Fig. 2. Design scheme of LP-19 tracked feller bunchers

Используя методику решения данной задачи [Добрачев, 2014; Сюнёв, 2011], получаем выходные зависимости от координат точки C и углов подъема/опускания стрелы φ и рукояти ψ :

$$\varphi = 90^\circ + \arctg\left(\frac{Y_C}{X_C}\right) + \arccos\left(\frac{AB^2 + AC^2 - BC^2}{2 \cdot AB \cdot AC}\right), \quad (1)$$

$$\psi = \arccos\left(\frac{AB^2 + BC^2 - AC^2}{2 \cdot AB \cdot BC}\right), \quad (2)$$

где $AC = \sqrt{Y_C^2 + X_C^2}$ – условная диагональ в треугольнике катетов стрелы AB и рукояти BC манипулятора.

Для определения зависимости между углами подъема/опускания стрелы φ и рукояти ψ и длинами гидроцилиндров l_1 и l_2 учитываем особенности подвеса последних и получаем:

- для модели манипулятора ВПМ John Deere серии 800М:

$$l_1^2 = c^2 + h^2 + e^2 + a^2 - 2 \cdot \sqrt{c^2 + h^2} \cdot \sqrt{e^2 + a^2} \times \\ \times \cos \left(\varphi - \arctg \left(\frac{a}{e} \right) - \arctg \left(\frac{c}{h} \right) \right), \quad (3)$$

$$l_2^2 = b^2 + (AB - d)^2 + g^2 + f^2 - 2 \cdot \sqrt{b^2 + (AB - d)^2} \cdot \sqrt{g^2 + f^2} \times \\ \times \cos \left(\psi - \arctg \left(\frac{b}{AB - d} \right) - \arctg \left(\frac{f}{g} \right) \right); \quad (4)$$

- для модели манипулятора ВПМ ЛП-19:

$$l_1^2 = d^2 + e^2 + a^2 - 2 \cdot d \cdot \sqrt{e^2 + a^2} \cdot \cos \left(\varphi - \arctg \left(\frac{a}{e} \right) \right), \quad (5)$$

$$l_2^2 = b^2 + (AB - h)^2 + g^2 + f^2 - 2 \cdot \sqrt{b^2 + (AB - h)^2} \cdot \sqrt{g^2 + f^2} \times \\ \times \cos \left(\psi - \arctg \left(\frac{b}{AB - h} \right) - \arctg \left(\frac{f}{g} \right) \right). \quad (6)$$

Для моделирования плоскопараллельного движения принимаем значения параметров манипуляторов ВПМ, указанные в табл. 1.

Таблица 1

Значения параметров манипуляторов ВПМ

Technical characteristics of feller buncher manipulators

Машина	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>AB</i>	<i>BC</i>	<i>OA</i>
ЛП-19	785	245	0	2325	500	250	870	390	3200	3500	650
JD-800М (стрела 6,1 м)	615	250	250	2600	615	280	2235	2000	3100	3000	800

Приведенные в табл. 1 данные были занесены в Excel и просчитаны отдельно для ВПМ ЛП-19 и John Deere серии 800М. При этом нами было учтено, что начальное положение свободного конца манипулятора (т.С) имеет координаты относительно т.О:

- для ЛП-19: (2700; –200) мм;
- для John Deere серии 800М: (2700; –350) мм.

Отличие по высоте расположения свободного конца манипулятора связано с конструктивными особенностями машин. Знак «минус» указывает, что палец крепления захватно-срезающего устройства расположен ниже т.О.

Для приведения результатов расчета к принятому в отрасли понятию «вылет манипулятора», который считается от оси вращения платформы ВПМ до оси захватываемого дерева, к координате X_C добавим:

- для ЛП-19: 1500 мм;
- для John Deere серии 800M: 270 мм.

Результаты исследования будут приведены с учетом данного положения.

Результаты исследования. В результате расчетов были получены графические зависимости изменения длин гидроцилиндров подъема/опускания стрелы (рис. 3) и рукояти (рис. 4).

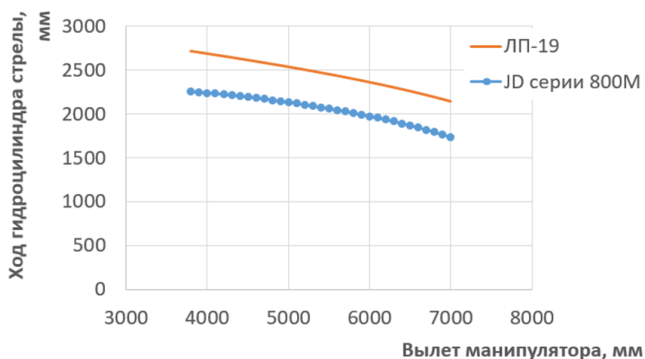


Рис. 3. Изменение вылета гидроцилиндра стрелы

Fig. 3. Change of a departure of a hydraulic boom cylinder

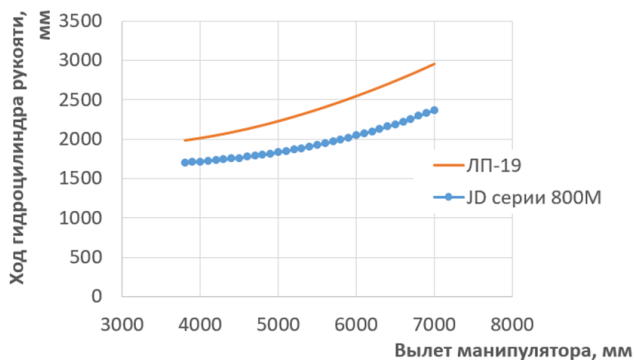


Рис. 4. Изменение вылета гидроцилиндра рукояти

Fig. 4. Change of a departure of a hydraulic stick cylinder

Для рассматриваемых ВПМ конструктивно задано количество гидроцилиндров подъема/опускания стрелы – 2 шт; гидроцилиндр подъема/опускания рукояти – 1 шт; гидроцилиндр подъема/опускания ЗСУ – 1 шт. Все гидроцилиндры имеют одинаковый диаметр.

Таким образом, для обеспечения плоскопараллельного движения ЗСУ рабочая жидкость, вытесняемая из поршневой полости гидроцилиндров стрелы, может быть направлена в поршневые полости гидроцилиндров рукояти и (как вариант) стойки ЗСУ.

Для ВПМ ЛП-19 графики зависимостей объемов поршневой полости 2 гидроцилиндров стрелы и одного гидроцилиндра рукояти приведены на рис. 5.

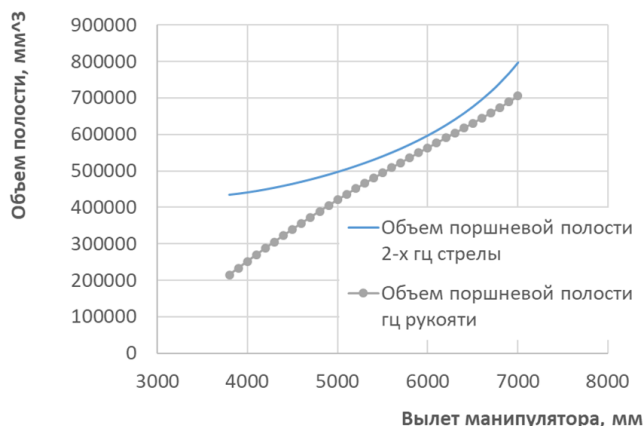


Рис. 5. Изменение объемов поршневой полости 2 гидроцилиндров стрелы и одного гидроцилиндра рукояти ВПМ ЛП-19

Fig. 5. Change in the volume of piston employment of 2 hydraulic boom cylinder and 1 hydraulic stick cylinder of LP-19

При управлении, например, перемещением штоков гидроцилиндров стрелы, объем вытесняемой из поршневых полостей рабочей жидкости превышает необходимый для перемещения рукояти. Как следствие, движение свободного конца манипулятора примет вид, показанный на рис. 6, кривая «Мат модель».

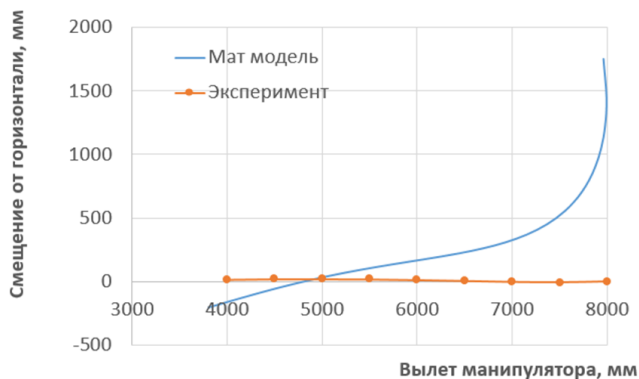


Рис. 6. Работа ВПМ ЛП-19 при управлении движением стрелы
Fig. 6. Operation LP-19 with boom motion control

Использование дивертора, являющегося дросселирующим устройством, обеспечивает частичный сброс рабочей жидкости таким образом, что перемещение ЗСУ отклоняется от плоскопараллельного не более чем на 30...40 мм [Богданов, 2020] (рис. 6, кривая «Эксперимент»).

Для John Deere серии 800M графики зависимостей объемов поршневой полости 2 гидроцилиндров стрелы и одного гидроцилиндра рукояти приведены на рис. 7.

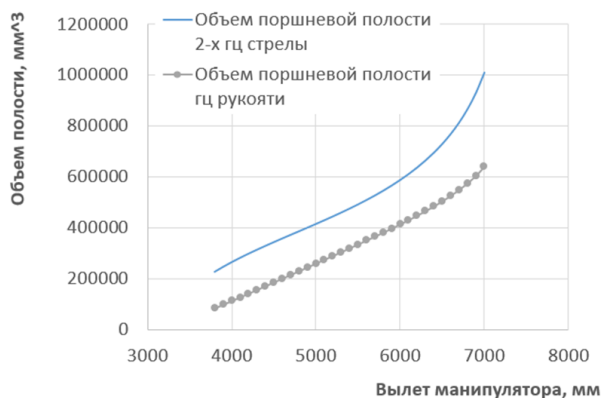


Рис. 7. Изменение объемов поршневой полости 2-х гидроцилиндров стрелы и одного гидроцилиндра рукояти John Deere серии 800M

Fig. 7. Change in the volume of piston employment of 2 hydraulic boom cylinder and 1 hydraulic stick cylinder of John Deere 800M-Series

Для реализации плоскопараллельного движения в гидросистеме John Deere серии 800М необходимо сформировать контур, запитывающий поршневую полость гидроцилиндра рукояти от одного гидроцилиндра стрелы. При этом, движение свободного конца манипулятора John Deere серии 800М примет вид, показанный на рис. 8.

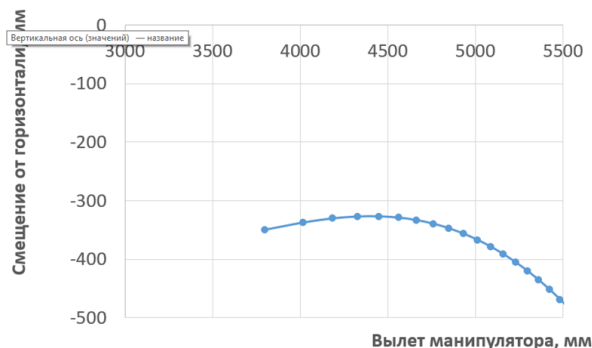


Рис. 8. Работа ВПМ John Deere серии 800М при управлении движением стрелы

Fig. 8. Operation John Deere 800M-Series with boom motion control

Использование указанной схемы позволяет добиться плоскопараллельного движения ЗСУ ВПМ John Deere серии 800М на вылете манипулятора до 5 метров с отклонением 17...20 мм. При работе на большем вылете отклонение от плоскопараллельного увеличится до 400 мм.

Заключение. По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Применение специальных устройств (типа дивертор) для валочно-пакетирующих машин с гидрофицированным шарнирно-сочлененным манипулятором и валочной головкой с фрезой обеспечивает удобство работы оператора. Управление перемещением манипулятора осуществляется рукоятью движения стрелы (одной рукой). Положение рукояти управляется потоком рабочей жидкости с гидроцилиндров стрелы;

2. Особенность работы дивертора обеспечивает плоско-параллельное перемещение валочной головки с фрезой ВПМ ЛП-19 за счет дросселирования потока рабочей жидкости с гидроцилиндров стрелы по изменяемому от вылета давления в гидроприводе манипулятора;

3. Для ВПМ типа John Deere серии 800М возможно обеспечить перемещение манипулятора управлением рукоятью движения стрелы (одной рукой) при введении в систему гидропривода контура, запитывающего поршневую полость гидроцилиндра рукояти от одного гидроцилиндра стрелы;

4. Плоскопараллельное движение валочной головки с фрезой для модернизированных ВПМ типа ЛП-19 и John Deere серии 800М выполняется рукоятью движения стрелы (одной рукой) и корректировкой положением стойки ЗСУ (второй рукой).

5. Перемещение валочной головки с фрезой для ВПМ ЛП-19 отклоняется от плоскопараллельного не более чем на 30...40 мм по всему вылету манипулятора, а для John Deere серии 800М – до 20 мм на вылете до 5 м. Работа на большем вылете приведет к существенному отклонению от горизонтали до 400 мм.

Вклад авторов. Грязин Владимир Альбертович разработал методику расчета кинематики шарнирно-сочлененного манипулятора и обеспечил общую компоновку материалов статьи.

Багаутдинов Ильдар Нургаязович выполнил проверку адекватности математической модели расчета сравнением результатов теоретического исследования с параметрами 3d-моделей манипуляторов ВПМ ЛП-19 и John Deere серии 800М.

Шестаков Яков Иванович подготовил варианты решений изменения системы управления гидроприводом манипулятора John Deere серии 800М.

Галаутдинов Альберт Радилович выполнил расчеты по прямой и обратной задаче для подготовленных вариантов решений и определил наиболее эффективное.

Благодарности. Коллектив авторов выражает благодарность ООО фирма «ЛЕСТЕХКОМ» (г. Йошкар-Ола), в предоставлении технической информации и сопровождении исследований.

Библиографический список

Богданов Е.Н., Полянин И.А., Егоров А.В., Багаутдинов И.Н. Сокращение отклонения от плоскопараллельного движения рабочего органа валочно-пакетирующей машины ЛП-19 // Вестник Поволжского Государственного Технологического Университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2020. № 1 (13). С. 69–77.

Добрачев А.А., Раевская Л.Т., Швец А.В. Кинематические схемы, структуры и расчет параметров лесопромышленных манипуляторных машин: монография. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. 128 с.

Долматов С.Н., Никончук А.В. Технология и оборудование лесозаготовок: учеб. пособие. Красноярск: СПбГУ им. М.Ф. Решетнева, 2022. 96 с.

Лестехком: лесозаготовительная техника на базе ЛП-19 [Электронный ресурс] // Лестехком. Производство лесозаготовительной техники. URL: <http://lestechcom.ru/> (дата обращения: 07.06.2023).

Сюнёв В.С., Селиверстов А.А., Герасимов Ю.Ю., Соколов А.П. Лесосечные машины в фокусе биоэнергетики: конструкции, проектирование, расчет: учеб. пособие. Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии METLA, 2011. 143 с.

References

Bogdanov E.N., Polyatin I.A., Egorov A.V., Bagautdinov I.N. Reducing the deviation from the plane-parallel movement of the working body of the LP-19 feller buncher. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Materials. Designs. Technologies*, 2020, no. 1 (13), pp. 69–77. (In Russ.)

Dobrachev A.A., Raevskaya L.T., Shvets A.V. Kinematic schemes, structures and calculation of parameters of timber industrial manipulator machines: monograph. Yekaterinburg: Ural. state forest engineering un-t, 2014. 128 p. (In Russ.)

Dolmatov S.N., Nikonchuk A.V. Technology and equipment of logging: textbook. Krasnoyarsk: Siberian State University M.F. Reshetnev, 2022. 96 p. (In Russ.)

Lestekhkom: forest harvesting machinery on the basis of LP-19 [Electronic resource]. Manufacture of logging equipment. URL: <http://lestechcom.ru/> (accessed July 06, 2023). (In Russ.)

Syunev V.S., Seliverstov A.A., Gerasimov Yu.Yu., Sokolov A.P. Cutting machines in the focus of bioenergy: designs, design, calculation: proc. allowance. Joensuu: Finnish Forest Research Institute METLA, 2011. 143 p. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 27.06.2023

Грязин В.А., Багаутдинов И.Н., Шестаков Я.И., Галяутдинов А.Р. Управление движением валочной головки с фрезой валочно-пакетирующей машины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 249. С. 244–255. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.244-255

В статье представлены материалы по особенностям управления манипуляторов валочно-пакетирующих машин ЛП-19 и John Deere серии 800M. Данные машины оборудованы специальными устройствами – валочными головками с фрезой и накопителем. Особенностью работы машин с таким навесным оборудованием является необходимость контроля за положением фрезы в процессе срезания деревьев. Для наиболее эффективной работы оператору необходимо вести фрезу параллельно земле, с небольшим отклонением «на себя». Так как накопитель позволяет поочередно срезать несколько деревьев, оператору неудобно управлять положением стойки валочной головки, стрелой и рукоятью. Для этого, ВПМ ЛП-19 оборудовали дивертором – устройством, соединяющим

гидравлический цилиндры стрелы и рукояти в одну линию. При этом оператор машины имеет возможность одной рукой управлять плоскопараллельным движением манипулятора, а второй – корректировать наклон стойки валочной головки. Управление упрощается. Нашей задачей является сравнение ВПМ ЛП-19 и John Deere серии 800М с точки зрения возможности применения дивертора на второй машине. Для этого мы выполнили анализ кинематической схемы манипуляторов и расположения гидроцилиндров. Учтено количество гидроцилиндров, используемых для привода стрелы и рукояти. Определен порядок их работы. Определены объемы поршневых и штоковых полостей. Разработана методика расчета кинематики шарнирно-сочлененного манипулятора валочно-пакетирующей машины. Решена прямая и обратная задача. Определены условия плоскопараллельного движения валочной головки с фрезой для ВПМ ЛП-19 и John Deere серии 800М. Предложен способ обеспечения плоскопараллельного движения валочной головки с фрезой для ВПМ John Deere серии 800М.

Ключевые слова: кинематика, манипулятор, валочная головка с фрезой, управление.

Gryazin V.A., Bagautdinov I.N., Shestacov Y.I., Galyautdinov A.R. Control of the movement of the felling head with the cutter of the feller buncher. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii*, 2024, iss. 249, pp. 244–255 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.244-255

The article presents materials on the control features of the manipulators of the feller buncher LP-19 and John Deere 800M series. These machines are equipped with special devices – felling heads with a milling cutter and a storage device. A feature of the operation of machines with such attachments is the need to control the position of the cutter during the process of cutting trees. For the most efficient work, the operator needs to guide the cutter parallel to the ground, with a slight deviation towards itself. Since the drive allows you to cut several trees one by one, it is not convenient for the operator to control the position of the felling head stand, boom and handle. For this, the feller buncher LP-19 was equipped with a diverter – a device that connects the hydraulic cylinders of the boom and arm in one line. At the same time, the machine operator has the ability to control the plane-parallel movement of the manipulator with one hand, and with the other hand to adjust the tilt of the felling head stand. Management is simplified. Our task is to compare the feller buncher LP-19 and the John Deere 800M series from the point of view of the possibility of using a diverter on the second machine. To do this, we analyzed the kinematic diagram of the manipulators and the location of the hydraulic cylinders. The number of hydraulic cylinders used to drive the boom and arm is taken into account. The order of their work is determined. The volumes of the piston and rod cavities are determined. A method for calculating the kinematics of an articulated manipulator of a feller buncher has been developed. The direct and inverse problem is solved. The conditions for the plane-parallel movement of the felling head with a cutter

for the feller buncher LP-19 and John Deere series 800M are determined. A method is proposed for ensuring plane-parallel movement of the felling head with a milling cutter for feller buncher John Deere series 800M.

Key words: kinematics, manipulator, felling head with cutter, control.

ГРЯЗИН Владимир Альбертович – доцент Поволжского государственного технологического университета», кандидат технических наук. SPIN-код: 7164-2190.

424000, пл. Ленина, д. 3. г. Йошкар-Ола, РМЭ, Россия. E-mail: GryazinVA@volgatech.net

GRYAZIN Vladimir A. – PhD (Technical), Volga State University of Technology. SPIN-код: 7164-2190.

424000. Lenin sq. 3. Yoshkar-Ola. The Republic of Mari El. Russia. E-mail: GryazinVA@volgatech.net

БАГАУТДИНОВ Ильдар Нургаязович – доцент Поволжского государственного технологического университета, кандидат технических наук. SPIN-код: 1688-5368.

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

BAGAUTDINOV Ildar N. – PhD (Technical), Volga State University of Technology. SPIN-код: 1688-5368.

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

ШЕСТАКОВ Яков Иванович – профессор Поволжского государственного технологического университета, кандидат технических наук.

424000, пл. Ленина, д. 3. г. Йошкар-Ола, РМЭ, Россия. E-mail: SHestakovYI@volgatech.net

SHESTACOV Yacov I. – PhD (Technical), Volga State University of Technology.

424000. Lenin sq. 3. Yoshkar-Ola. The Republic of Mari El. Russia. E-mail: SHestakovYI@volgatech.net

ГАЛЯУТДИНОВ Альберт Радикович – доцент ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет». SPIN-код: 7244-6797.

424000, пл. Ленина, д. 3. г. Йошкар-Ола, РМЭ, Россия. E-mail: GalyautdinovAR@volgatech.net

GALYAUTDINOV Albert R. – Associate Professor, Volga State University of Technology. SPIN-код: 7244-6797.

424000. Lenin sq. 3. Yoshkar-Ola. The Republic of Mari El. Russia. E-mail: GalyautdinovAR@volgatech.net