

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОБРЕЗЧИКА ВЕТВЕЙ В САПР

доктор технических наук, профессор **И.М. Баргнев**

кандидат технических наук, доцент **Л.Д. Бухтояров**

кандидат технических наук **В.П. Попиков**

аспирант **А.В. Придворова**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

При уходе за лесными культурами необходимо проводить обрезку ветвей. Обрезка вершин осуществляется в питомниках, удаление кустарника – на вырубках, формирование кроны – у лесозащитных полос. Оператору сложно одновременно управлять несколькими гидроцилиндрами и выдерживать требуемое положение рабочего органа. С развитием цифровых средств визуального контроля и автоматического управления появляется возможность автоматизировать процесс обрезки ветвей. Для автоматизации работы оператора требуется определить управляющие воздействия на гидроцилиндры обрезчика ветвей. Современное технологическое оборудование проектируется в системах автоматизированного проектирования (САПР), которые позволяют численным методом провести компьютерный эксперимент на имитационной модели. Нами была спроектирована конструкция обрезчика в Solidworks и составлена имитационная модель. Имитационная модель учитывает геометрические, кинематические и инерционные параметры звеньев обрезчика. Исследовано перемещение рабочего органа обрезчика из транспортного положения в рабочее. В модуле Motion Solidworks на звенья были установлены виртуальные датчики перемещения и получены траектории движения обрезчика. Полученные управляющие воздействия могут быть использованы как входной параметр для имитационных моделей в других математических средах и при создании прототипов управляющих механизмов обрезчика.

Ключевые слова: обрезчик ветвей, имитационное моделирование, САПР, манипулятор, автоматизация

CAD SIMULATOR MODEL OF A CUTTER

DSc (Engineering), Professor **I.M. Bartenev**

PhD (Engineering), Associate Professor **L.D. Bukhtoyarov**

PhD (Engineering), Associate Professor **V.P. Popikov**

post-graduate student **A.V. Pridvorova**

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov",
Voronezh, Russian Federation

Abstract

When caring for forest crops, it is necessary to prune the branches. Cutting of top branches is carried out in nurseries, removal of shrubs - on clearings, the formation of crowns - in forest shelterbelts. It is difficult for the operator to simultaneously control several hydraulic cylinders and maintain the required position of the working body. It becomes possible to automate the process of pruning branches with the development of digital means of visual and automatic control. It is necessary to determine the control actions on the hydraulic cylinders of the branch cutter to automate the work of the operator. Modern technological equipment is designed in computer-aided design (CAD) systems. It enables using a numerical method to conduct a computer experiment on a simulation model. The design of the cutter in Solidworks have been made. A simulation model has been compiled. The simulation model takes into account geometric, kinematic and

inertial parameters of the cutter chains. The movement of the cutter working body from the transport position to the working one has been studied. Virtual displacement sensors have been installed on the chains in the Motion Solidworks module, and cutter paths have been obtained. The resulting control actions can be used as an input parameter for simulation models in other mathematical environments, and when creating prototypes of cutting control mechanisms.

Keywords: branch cutter, simulation, CAD, manipulator, automation

Введение

При уходе за лесными культурами необходимо проводить обрезку ветвей. Обрезка вершин осуществляется в питомниках, удаление кустарника – на вырубках, формирование кроны – у лесозащитных полос [1]. С внедрением автоматизированных средств слежения как в целом за машиной, так и за объектами ухода возникает возможность повысить производительность проводимых операций и снизить требования и нагрузку на оператора [2, 3]. При рассмотрении гидравлической системы, приводящей в требуемое положение рабочий орган обрезчика ветвей, оператору необходимо управлять тремя гидроцилиндрами. Однако если мы знаем, как следует расположить рабочий орган, то путем моделирования можем найти требуемый ход штоков гидроцилиндров.

В настоящее время проектирование технологического оборудования ведется в системах автоматизированного проектирования. При разработке конструкции детали объединяются в сборочный чертеж и обладают инерционными свойствами в соответствии с их размерами и выбранным материалом. Используя 3D модель технологического оборудования, можно установить виртуальные датчики перемещения на его звенья. Расположив звенья обрезчика ветвей в транспортное и рабочее положение, мы получим показания перемещения его гидроцилиндров, а значит, управляющие воздействия оператора. Такой подход позволяет совместить операции по движению сразу трех гидроцилиндров, что повышает производительность работы. Для функционирования обрезчика в реальных условиях необходимо снабдить прототип датчиками перемещения штока гидроцилиндра и калибровать расположением звеньев относительно их начального положения, а также разработать механизм подачи давления в соответствии с цифровыми значениями оборудования.

Материалы и методы

Используя САПР SolidWorks, создадим звенья, укажем их сопряжения в сборке, установим материал. Общий вид 3D модели обрезчика ветвей показан на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид обрезчика ветвей (собственная разработка авторов)

Обрезчик состоит из рамы, которая присоединяется к навеске трактора, колонны, вращающейся в вертикальной плоскости двумя гидроцилиндрами, соединенной со стрелой, на конце которой установлен зубчатый механизм поворота рабочего органа с тремя пильными дисками. Вращение на пильные диски передается ременной передачей от гидромотора. Поворот рабочего органа осуществляется за счет перемещения штока гидроцилиндра, выполняющего функцию шатуна. Ширина захвата 1,4 м. Диаметр срезаемых ветвей до 10 см. Пилы расположены в шахматном порядке, перекрывая рабочую зону друг друга. Частота вращения пил

1000 об/мин, диаметр 0,5 м, окружная скорость резания 25 м/с, что предотвращает отклонение тонких ветвей при резании. Общая масса конструкции 350 кг.

Обозначим характерные точки обрезчика ветвей: А – шарнир крепления первого гидроцилиндра, В – шарнир крепления штока первого гидроцилиндра, С – шарнир поворота стрелы относительно колонны, D – шарнир второго гидроцилиндра (на колонне), E – шарнир штока второго гидроцилиндра (на стреле), F – шарнир третьего гидроцилиндра (на стреле), G – шарнир третьего штока, L – крайняя левая точка на диске пилы, R – крайняя правая точка на диске пилы (рис. 2).

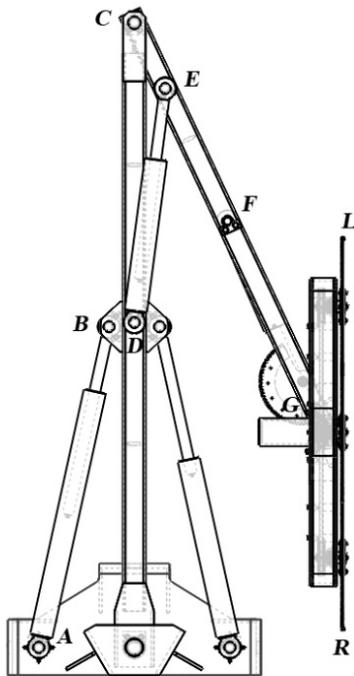


Рис. 2. Транспортное положение обрезчика
(собственная разработка авторов)

Путем движения звеньев переведем механизм в транспортное положение (рис. 2). Установим виртуальные датчики, которые будут отслеживать координаты по осям OX, OY (рис. 3). Также установим датчики, которые отслеживают перемещение штоков гидроцилиндра относительно их начального значения.

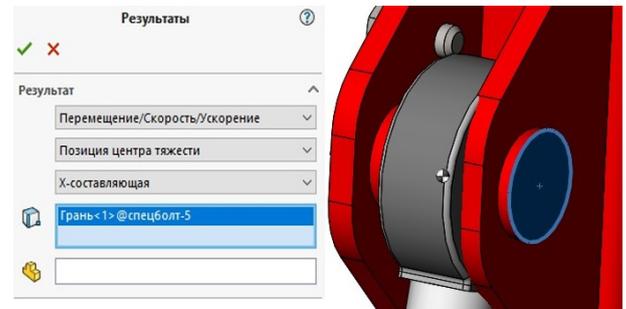


Рис. 3. Датчик движения шарнира В по оси OX
(собственная разработка авторов)

Обрезчик монтируются на навеске трактора. На рис. 4 показан вид спереди, в то время как система координат сориентирована по ходу движения трактора, а значит положительные значения оси OX будут направлены влево. Процесс перемещения рабочего органа исследуем при неподвижной машине, а значит, пренебрегаем осью OZ.

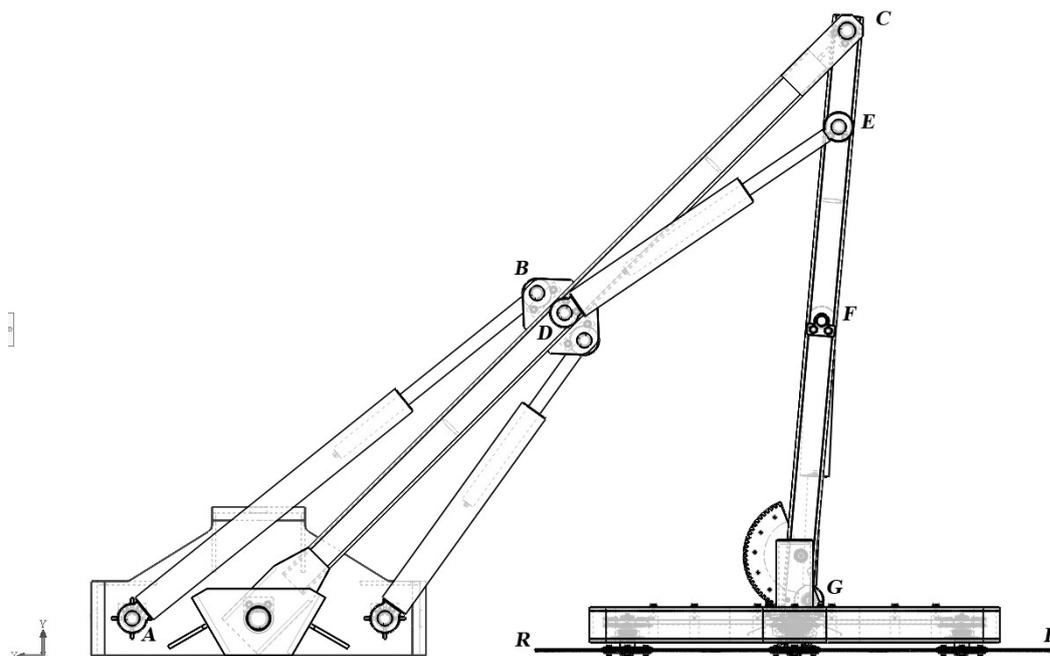


Рис. 4. Рабочее положение обрезчика ветвей (вид спереди) (собственная разработка авторов)

Таблица 1

Координаты характерных точек обрезчика
в транспортном и рабочем положениях

№ п/п	Датчик	X_t , мм	Y_t , мм	X_p , мм	Y_p , мм
1	A	340	100	-340	100
2	B	90	1254	-749	977
3	C	0	1086	-698	798
4	D	0	1265	-824	924
5	E	-110	2104	-1561	1425
6	F	-332	1629	-1516	902
7	G	-578	995	-1431	214
8	L	-743	1566	-2137	12
9	R	-743	166	-737	12

(собственная разработка авторов)

Используя виртуальные датчики, расположенные в шарнирах A, B, C, D, E, F, G и крайних точках рабочего органа R, L, сведем начальные и конечные координаты механизма в табл. 1. Обозначим индексом т – транспортное положение, а индексом р – рабочее положение.

Результаты и обсуждение

Для повышения жесткости конструкции поворотная колонна вращается двумя гидроцилиндрами. Так как гидроцилиндры расположены симметрично друг другу, следует ожидать симметрию при перемещении их штоков при повороте колонны.

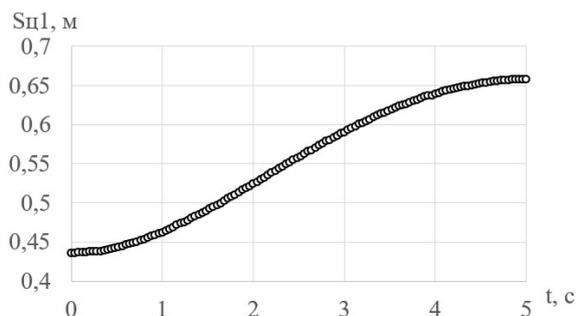


Рис. 5. Показания виртуального датчика перемещения штока первого гидроцилиндра (собственная разработка авторов)

Данное предположение подтверждается показаниями виртуальных датчиков. Перемещение штока гидроцилиндров составило 0,2 м, характеристики показаны на рис. 5, 6.

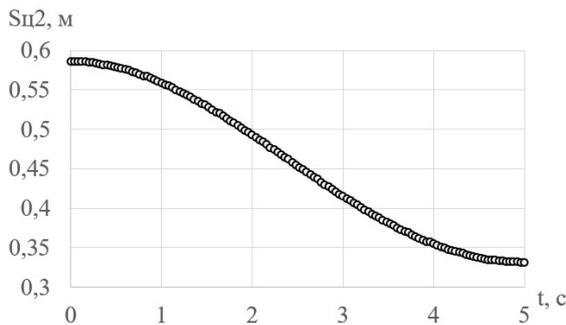


Рис. 6. Показания виртуального датчика перемещения штока второго гидроцилиндра (собственная разработка авторов)

Перемещение штока третьего гидроцилиндра DE составило 0,05 м. Управляя гидроцилиндрами DE и AB, рабочий орган располагается по осям OX, OY на требуемые вылет и высоту. Характеристика перемещения показана на рис. 7.

Перемещение штока четвертого гидроцилиндра FG составило 0,002 м. Шток гидроцилиндра выполняет функцию шатуна, приводя в движение зубчатое зацепление с передаточным отношением $u = 0,4$.

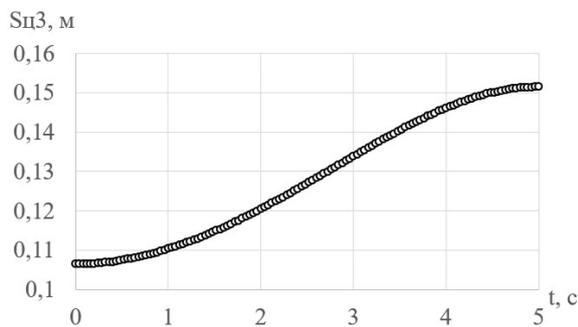


Рис. 7. Показания виртуального датчика перемещения штока третьего гидроцилиндра (собственная разработка авторов)

Шарнир крепления штока на зубчатом колесе проходит через нижнюю мертвую точку и возвращается обратно, что соответствует полученным значениям перемещения с виртуального датчика (рис. 8).

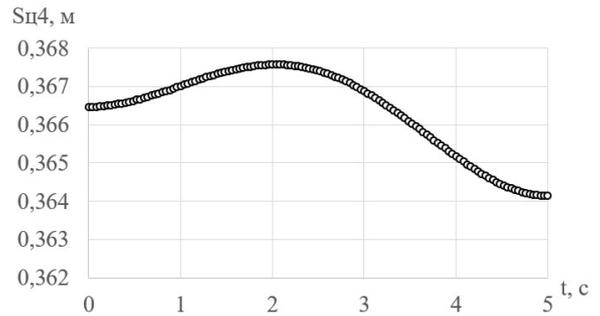


Рис. 8. Показания виртуального датчика перемещения штока четвертого гидроцилиндра (собственная разработка авторов)

Полученные на рис. 5, 6, 7, 8 значения перемещения штоков гидроцилиндров представляют собой требуемые воздействия оператора на гидроцилиндры, которые необходимо выполнить для перевода рабочего органа обрезчика из транспортного положения в рабочее. Целесообразно заложить полученные значения перемещения в автоматизированный механизм, который по нажатию одной кнопки выполнит данную работу.

Для контроля результатов управляющих воздействий нами были установлены виртуальные датчики на рабочем органе.

Показания датчика координаты Y для точки R приведены на рис. 9.

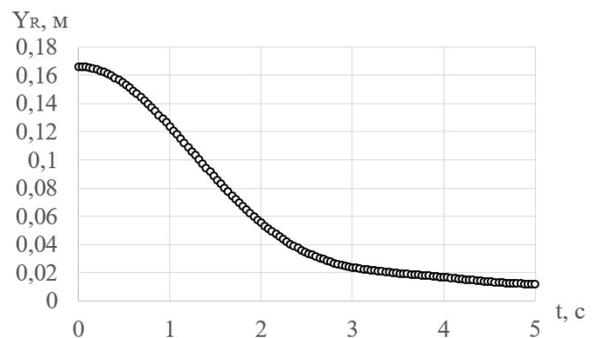


Рис. 9. Показания виртуального датчика координаты Y точки R (собственная разработка авторов)

Из графика следует, что в транспортном положении точка R (см. рис. 2) находилась на высоте 1,56 м, а после управляющего воздействия переместилась в рабочее положение (см. рис. 3) на высоту 0,012 м.

Управляющие воздействия производились параллельно, поэтому вылет координаты X точки R за счет поворота колонны компенсировался поворотом стрелы и разворотом на 90° рабочего органа. Перемещение координаты X составило $0,005$ м, а сама координата изменилась с $-0,742$ м в транспортном положении до $-0,737$ м в рабочем положении (рис. 10).

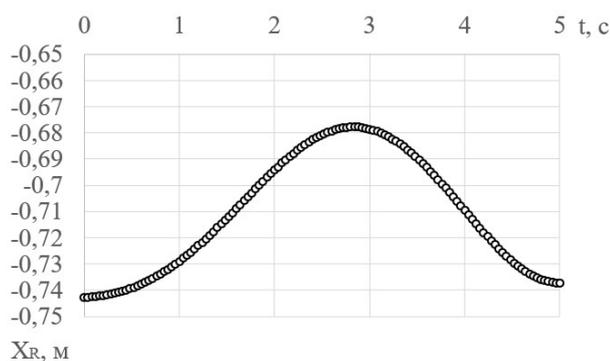


Рис. 10. Показания виртуального датчика координаты X точки R (собственная разработка авторов)

Аналогично были получены зависимости координат от времени для точки L . Для наглядной демонстрации перемещения рабочего органа в вертикальной плоскости построим зависимости координат X от Y для точки L (рис. 11).

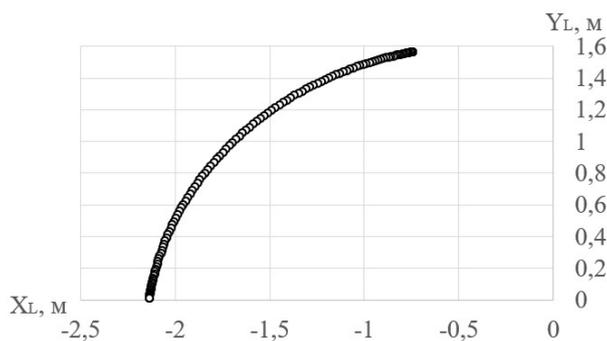


Рис. 11. Перемещение точки L рабочего органа в вертикальной плоскости (собственная разработка авторов)

Из рис. 11 следует, что точка L движется в плоскости XOY по дуге из верхнего положения, соответствующего транспортному, в нижнее левое (относительно хода движения машины).

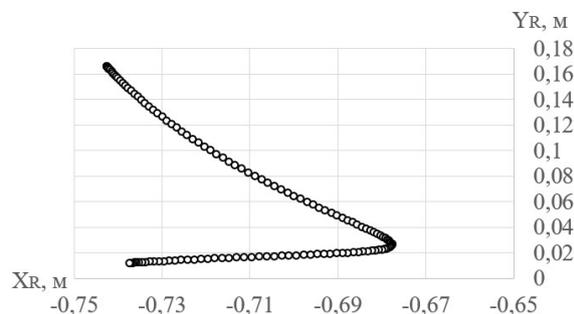


Рис. 12. Перемещение точки R рабочего органа в вертикальной плоскости (собственная разработка авторов)

Из рис. 12 следует, что точка L движется в плоскости XOY незначительно, изменяя свое положение из верхнего положения, соответствующего транспортному, в нижнее левое (относительно хода движения машины).

Выводы

1. На основании полученной имитационной модели были установлены управляющие воздействия, которые позволяют перевести рабочий орган из транспортного в рабочее положение.
2. Для предложенной конструкции обрезчика ветвей определены рабочая зона резания ($1,4$ м) и траектории движения рабочего органа.
3. Найденные управляющие воздействия могут быть использованы как входные параметры для моделирования обрезчика в других средах и для создания устройства, автоматизирующего работу оператора обрезчика.

Библиографический список

1. Гидроманипуляторы и лесное технологическое оборудование: монография / З. К. Емтыль, И. М. Бартнев, М. В. Драпалюк [и др.] ; под ред. И. М. Бартенева. – Москва : ФЛИНТА, Наука, 2011. – 408 с.
2. Бухтояров, Л. Д. Автоматизированный привод для управления ручными гидрораспределителями / Л. Д. Бухтояров, М. Н. Лысыч, Р. В. Мирзаханов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сб. науч. трудов по матер. междунар. заочной научно-практической конференции. – Воронеж, 2015. – № 7, ч. 1 (18-1). – С. 187–190.
3. Панченко, А. И. Основные направления гидрофикации мобильной техники / А. И. Панченко, А. А. Волошина, Ю. П. Обернихин // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2013. – № 13. – Т. 6. – С. 3–19.
4. An energy-saving nonlinear position control strategy for electro-hydraulic servo systems / K. Baghestan, S. Rezaei, H. Talebi, M. Zareinejad // ISA Transactions. – 2015. – P. 268–279.
5. Variable structure methods in hydraulic servo systems control / A. Bonchis, P. Corke, D. Rye, Q. Ha // Automatica. – 2001. – No. 4 (37). – P. 589–595.
6. An electro-hydraulic servo control system re-search for CFETR blanket RH / C. Chen, H. Tang, S. Qi [et al.] // Fusion Engineering and Design. – 2014. – No. 11. – P. 2806–2813.
7. Keles, O. Theoretical and experimental investigation of a pulse-width modulated digital hydraulic position control system / O. Keles, Y. Ercan // Control Engineering Practice. – 2002. – No. 6. – P. 645–654.
8. Lee, J. Design and experimental evaluation of a robust position controller for an electrohydrostatic actuator using adaptive antiwindup sliding mode scheme / J. Lee, S. Park, J. Kim // The Scientific World Journal. – 2013. – P. 1–16.
9. Behavioural prediction of hydraulic step-up switching converters / V. De Negri, P. Wang, A. Plummer, D. Johnston // International Journal of Fluid Power. – 2014. – No. 1 (15). – P. 1–9.
10. Sirouspour, M. R. On the nonlinear control of hydraulic servo-systems / M. R. Sirouspour, S. E. Salcudean // Robotics and Automation, 2000. Proceedings. ICRA '00. IEEE International Conference on. – 2000. – Vol. 2. – P. 1276–1282.

References

1. Emtyl Z.K., Bartenev I.M., Drapalyuk M.V., Popikov P.I., Tatarenko A.P., Bukhtoyarov L.D. *Gidromanipulyatory i lesnoe tekhnologicheskoe oborudovanie* [Hydromanipulators and the wood process equipment]. Moscow, 2011, 408 p. (in Russian).
2. Bukhtoyarov L.D., Lysych M.N., Mirzekhanov R.V. *Avtomatizirovanniy privod dlya upravleniya ruchnymi gidroraspredelitelnyami* [The automated drive for management of manual hydrodistributors]. *Aktual'nye Napravleniya Nauchnykh Issledovaniy XXI Veka: Teoriya I Praktika* [Actual Directions of Scientific Researches of the XXI-st century: the Theory And Practice]. Voronezh, 2015, no. 7-1 (18-1) (3), pp. 187-190 (in Russian).
3. Panchenko A.I., Voloshina A.A., Obernikhin Yu.P. (2013) *Osnovnye napravleniya gidrofikatsii mobil'noy tekhniki* [The basic directions hydraulic the mobile technics]. *Pratsi Tavriys'kogo derzhavnogo agrotekhnologichnogo universitetu* [Works of Tavrijsky state agrotechnical university], no. 13, vol. 6, pp. 3-19 (in Russian).
4. Baghestan K., Rezaei S., Talebi H., Zareinejad M. (2015) An energy-saving nonlinear position control strategy for electro-hydraulic servo systems. *ISA Transactions*, pp. 268-279.
5. Bonchis A., Corke P., Rye D., Ha Q. (2001) Variable structure methods in hydraulic servo systems control. *Automatica*, no. 4 (37), pp. 589-595.
6. Chen C., Tang H., Qi S. (et al.) (2014) An electro-hydraulic servo control system research for CFETR blanket RH. *Fusion Engineering and Design*, no. 11, pp. 2806-2813.

7. Keles O., Ercan Y. (2002) Theoretical and experimental investigation of a pulse-width modulated digital hydraulic position control system. *Control Engineering Practice*, no. 6, pp. 645-654.

8. Lee J., Park S., Kim J. (2013) Design and experimental evaluation of a robust position controller for an electrohydrostatic actuator using adaptive antiwindup sliding mode scheme. *The Scientific World Journal*, pp. 1-16.

9. De Negri V., Wang P., Plummer A., Johnston D. (2014) Behavioural prediction of hydraulic step-up switching converters. *International Journal of Fluid Power*, no. 1 (15), pp. 1-9.

10. Sirouspour M.R., Salcudean S.E. (2000) On the nonlinear control of hydraulic servo-systems. *Robotics and Automation*, 2000. Proceedings. ICRA '00. IEEE International Conference, vol. 2, pp. 1276-1282.

Сведения об авторах

Бартенеv Иван Михайлович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: kafedramehaniza@mail.ru.

Бухтояров Леонид Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: vglta-mlx@yandex.ru.

Попиков Виктор Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: kafedra.laip@inbox.ru.

Придворова Анастасия Викторовна – аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: anastasija.pridvorova@gmail.com.

Information about authors

Bartenev Ivan Mikhailovich – DSc (Engineering), Professor, Professor of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: kafedramehaniza@mail.ru.

Bukhtoyarov Leonid Dmitrievich – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forest Industry, Metrology, Standardization and Certification, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: vglta-mlx@yandex.ru.

Popikov Viktor Petrovich – PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Landscape Architecture and Soil Science, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: kafedra.laip@inbox.ru.

Pridvorova Anastasiya Viktorovna – post-graduate student of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: anastasija.pridvorova@gmail.com.