

**Л.Д. Бухтояров, С.В. Малюков, М.Н. Лысыч, М.В. Шавков,  
А.Ф. Петков, М.А. Попов**

## **ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА КИНЕМАТИКИ ЛЕСОПОСАДОЧНОГО АППАРАТА ЦЕПНОГО ТИПА**

*Введение.* Потребление древесины постоянно растет. Для удовлетворения этой потребности ежегодно в России вырубается леса на площади около 120 тыс. га. При современной технологии лесоразработок после сплошных рубок образуются большие площади, на части которых необходимо проводить искусственное лесовозобновление. Согласно прогнозу по отрасли объем лесовосстановительных работ с учетом развития лесозаготовок в ближайшие 10–15 лет будет увеличиваться.

В настоящее время при создании лесных культур почти повсеместно отдается предпочтение посадкам. Несмотря на то, что посев семян легче механизировать, преимущества создания лесных культур посадкой вызвали необходимость разработки лесопосадочных машин. Для охвата механизированной посадкой леса всех имеющихся площадей необходимо создание новых лесопосадочных машин.

Одним из направлений совершенствования технологического процесса механизированной посадки является усовершенствование и разработка новых механизмов для подачи семян (саженцев) в посадочную щель, образуемую сошником.

Для обоснования параметров лесопосадочного аппарата необходимо определить параметры движения его звеньев. Наиболее актуальные методы решения подобных задач применительно к машинам сельскохозяйственного и лесного назначения описаны в работах [Жданов, 1969; Шабанов, 2002; Титов, 2006; Шавков, 2013; Бартенев, 2015; Клубничкин и др., 2020; Беляев и др., 2021].

Для анализа кинематики лесных машин используют автоматизированные программные продукты, такие как SolidWorks, Matlab/Simulink [Бартенев и др., 2020; Bukhtoyarov et al., 2021]. Однако использование зарубежного программного обеспечения не отвечает современным тенденциям, поэтому нами были использованы отечественный программный комплекс моделирования механических систем «Универсальный механизм 9.0» и среда 3D проектирования КОМПАС-3D.

*Методика расчета.* Выполним проектирование лесопосадочного аппарата в САПР КОМПАС-3D (рис. 1).

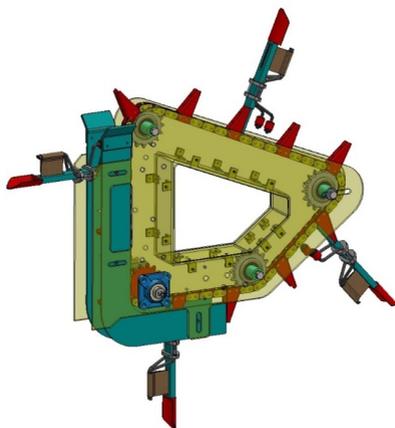


Рис. 1. 3D-модель лесопосадочного аппарата  
Fig. 1. 3D-model of the working body forest planter

Втулки с лучами движутся по траектории, которая определяется цепью (рис. 2).

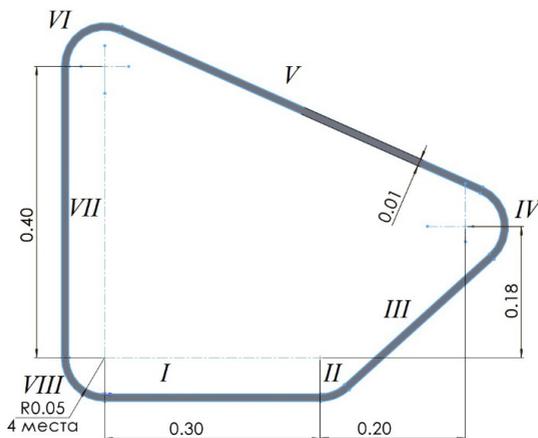


Рис. 2. Общий вид траектории движения цепи  
Fig. 2. General view of the trajectory of the chain movement

Траекторию движения цепи разобьем на восемь участков. Геометрические параметры каждого участка представлены в табл. 1. Начало прямых участков по осям абсцисс и ординат обозначим как  $X_0$ ,  $Y_0$ , окончание –  $X_k$ ,  $Y_k$ , где  $k$  – порядковый номер участка траектории движения цепи. Длины прямых и криволинейных участков обозначим как  $S$  и соединим их

радиусом  $R$ , проведенным из  $X_0, Y_0$  соответствующих участков. Угол наклона прямолинейных участков обозначим как  $\alpha$ . Начальный угол криволинейных участков обозначим как  $\varphi_0$ , а величину угла криволинейного участка как  $\Delta\varphi$ .

Таблица 1

**Геометрические параметры траектории цепи**  
**Geometric parameters of the chain trajectory**

Прямолинейные участки						
№	$X_0, \text{ м}$	$Y_0, \text{ м}$	$X_k, \text{ м}$	$Y_k, \text{ м}$	$\alpha, ^\circ$	$S, \text{ м}$
I	0	0	0,3	0	0	0,3
III	0,332	0,013	0,535	0,193	41,7	0,271
V	0,522	0,276	0,02	0,496	156,3	0,548
VII	-0,05	0,45	-0,05	0,05	270	0,4
Криволинейные участки						
	$X_0, \text{ м}$	$Y_0, \text{ м}$	$R, \text{ м}$	$\varphi_0, ^\circ$	$\Delta\varphi, ^\circ$	$S, \text{ м}$
II	0,3	0,05	0,05	270	41,7	0,036
IV	0,502	0,230	0,05	318,3	114,63	0,1
VI	0	0,450	0,05	66,3	113,67	0,01
VIII	0	0,05	0,05	180	90	0,079

Время прохождения втулок по цепи зависит от расстояния  $S$  и заданной скорости подачи  $V_p = 0,25$ . Определим расчетное время движения втулок на основании системы (1):

$$\begin{cases} \text{I участок:} & 0 \leq t < S_1 / V_p, \\ \text{II...VIII участки:} & \sum_{i=0}^{n-1} S_i / V_p \leq t < \sum_{i=0}^n S_i / V_p, \quad n = 2 \dots 8. \end{cases} \quad (1)$$

Подставив значения скорости и перемещений, получим

$$\begin{cases} 0 \leq t < 1,2, \\ 1,2 \leq t < 1,35, \\ 1,35 \leq t < 2,43, \\ 2,43 \leq t < 2,83, \\ 2,83 \leq t < 5, \\ 5 \leq t < 5,42, \\ 5,42 \leq t < 7, \\ 7 \leq t < 7,33. \end{cases} \quad (2)$$

Составим уравнения движения втулок цепи на каждом из восьми участков. При составлении уравнений представим угловую скорость на криволинейных участках  $\omega = V_p/R$ , а время, затрачиваемое на прохождение участков  $t = S/V_p$ . При определении значений углов тригонометрических функций на новых участках, с учетом непрерывности времени моделирования, необходимо уменьшать угол на величину произведения угловой скорости на время, затраченное ранее на предыдущих участках.

Для линейных участков уравнения примут вид:

$$\begin{cases} x_n(t) = X_{0\_n} + V_p \cdot \left( t - \sum_{i=0}^{n-1} S_i / V_p \right) \cdot \cos(\alpha_n), & \sum_{i=0}^{n-1} S_i / V_p \leq t < \sum_{i=0}^n S_i / V_p, \\ y_n(t) = Y_{0\_n} + V_p \cdot \left( t - \sum_{i=0}^{n-1} S_i / V_p \right) \cdot \sin(\alpha_n), & \text{для } n = 1, 3, 5, 7; \end{cases} \quad (3)$$

Для криволинейных участков уравнения примут вид:

$$\begin{cases} x_n(t) = X_n + R_n \cdot \cos \left( \varphi_{0\_n} + V_p / R_n \cdot \left( t - \sum_{i=0}^{n-1} S_i / V_p \right) \right), & \sum_{i=0}^{n-1} S_i / V_p \leq t < \sum_{i=0}^n S_i / V_p \\ y_n(t) = Y_n + R_n \cdot \sin \left( \varphi_{0\_n} + V_p / R_n \cdot \left( t - \sum_{i=0}^{n-1} S_i / V_p \right) \right), & \text{для } n = 2, 4, 6, 8; \end{cases} \quad (4)$$

Импортируем из 3D-модели деталь «Луч» в программу имитационного моделирования «Универсальный механизм 9.0». Расположим «Луч» в начале системы координат и зададим возможность поступательного движения по осям OX, OZ и вращательного движения относительно оси OY (рис. 3). Внесем уравнения (3), (4) в имитационную модель для каждого из участков траектории, начиная с пятого.

Выделим звенья, которые имеют дискретное взаимодействие друг с другом. Ролики взаимодействуют с направляющими. Брикет взаимодействует с ложементом, механизмом подачи и грунтом. Ствол брикета взаимодействует с пластинами захвата и механизмом подачи. Для реализации данных взаимодействий в имитационной модели выполним следующие действия.

Представим ролики в виде конуса, верхний  $R_1$  и нижний  $R_2$  радиусы которого 0,01 м, высота  $h = 0,02$  м. Брикет представим в виде конуса с  $R_1 = 0,02$  м;  $R_2 = 0,02$  м;  $h = 0,06$  м. Ствол – в виде конуса с  $R_1 = 0,003$  м;  $R_2 = 0,003$  м;  $h = 0,08$  м. Ложемент «Луча» и ответную часть представим в виде набора полиэдров, в которых вписан брикет с зазором 0,005 м. Зазор необходим для свободного движения брикета в начале моделирования, чтобы система пришла в равновесие, и не возникали резкие скачки сил от контактов тел. Контактное взаимодействие зададим по граням данных полиэдров.

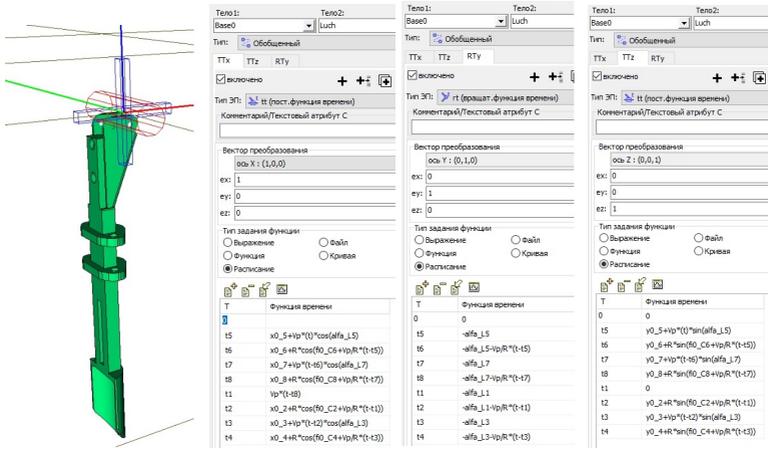


Рис. 3. Параметры обобщённого шарнира между локальной системой координат звена «Луч» и начальной системой координат всей модели

Fig. 3. Parameters of the generalized hinge between the local coordinate system of the «Beam» link and the initial coordinate system of the entire model

*Результаты и обсуждения.* На рис. 4, 5 показаны характерные положения звеньев рабочего органа лесопосадочной машины.

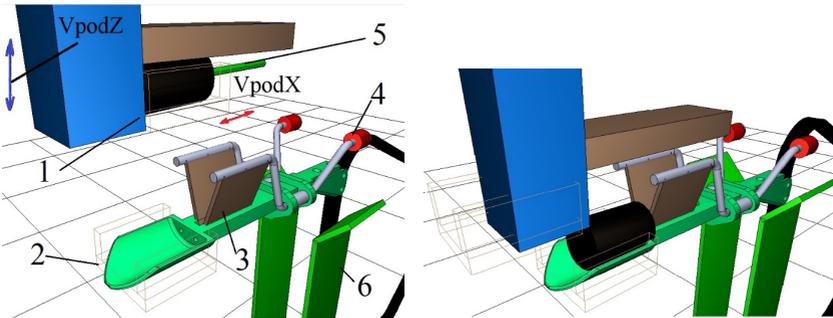


Рис. 4. Дискретное контактное взаимодействие твёрдых тел

Fig. 4. Discrete contact interaction of solids

Механизм подачи бrikета со стволom перемещается по оси Z со скоростью  $V_{podZ}$ , а его затвор сбрасывает бrikет в ложe, перемещаясь по оси X со скоростью  $V_{podX}$ . После падения бrikет захватывается в ложe 2, а ствол в зажимах 3. Ролики 4, входя в контакт с направляющими 6, зажимают пластины 3, которые удерживают ствол, пока ролики контактируют с направляющими и отпускают его в нижнюю точку посадки.

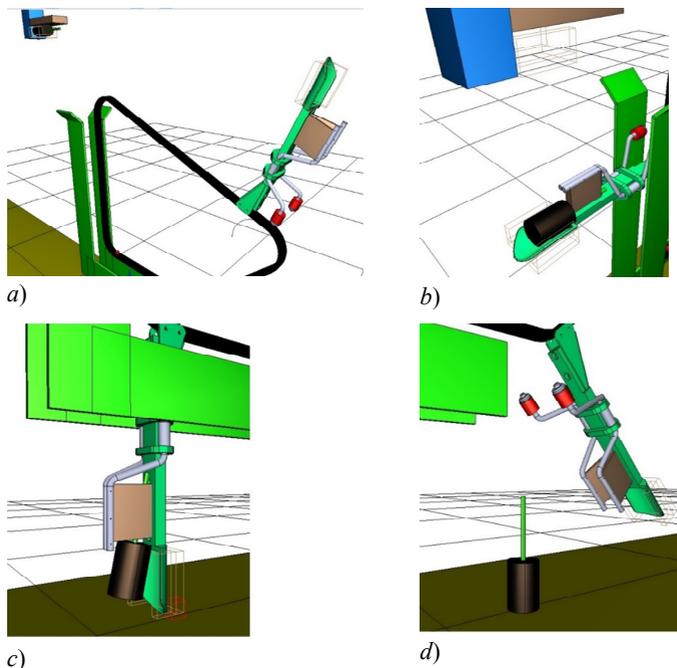


Рис. 5. Положение звеньев рабочего органа: а) холостой ход; б) зажим в вертикальной полосе; в) зажим в горизонтальной полосе; д) высадка  
 Fig. 5. The position of the links of the working body: a) idling; b) clamping in the vertical strip; c) clamping in the horizontal strip; d) disembarkation

Подачу саженца по оси OZ и OX зададим зависимостями, показанными на рис. 6.

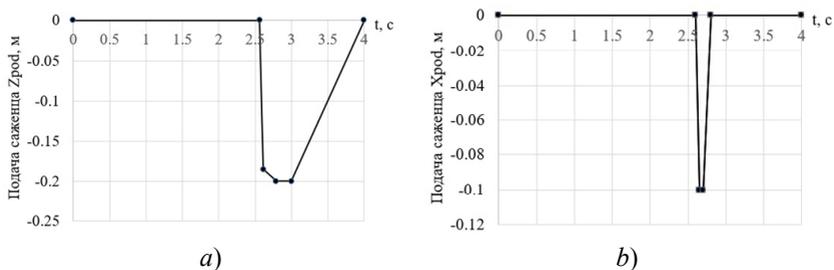


Рис. 6. Подача саженца: а) по оси OZ; б) по оси OX  
 Fig. 6. Seedling feeding: a) along the OZ axis; b) along the OX axis

Изменение положения абсциссы и ординаты брикета показано на рис. 7. Подача рамы рабочего органа составляет 0,25 м/с и направлена справа налево по оси ОХ. Закладка брикета механизмом подачи выполняется в соответствии с рис. 6.

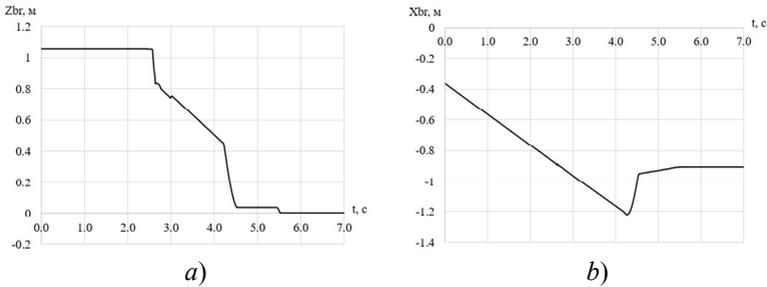


Рис. 7. Изменение положения брикета во времени: а) изменение вертикального положения; б) изменение горизонтального положения

Fig. 7. The change in the position of the briquette over time: a) a change in the vertical position; b) a change in the horizontal position

На основании полученных данных видно, что в начале движения брикет перемещается под действием подачи рабочего органа горизонтально вправо. Начиная с 2,5 с включается в работу механизм подачи брикета, за счет чего уменьшается его вертикальная составляющая, и продолжает изменяться горизонтальная составляющая, так как брикет контактирует со звеньями захвата. При достижении значения времени 5,5 с происходит установка брикета в почву, и его вертикальная и горизонтальные координаты далее не изменяются.

Траектория движения в плоскости посадки OZX показана на рис. 8а, а скорость движения брикета на рис. 8б.

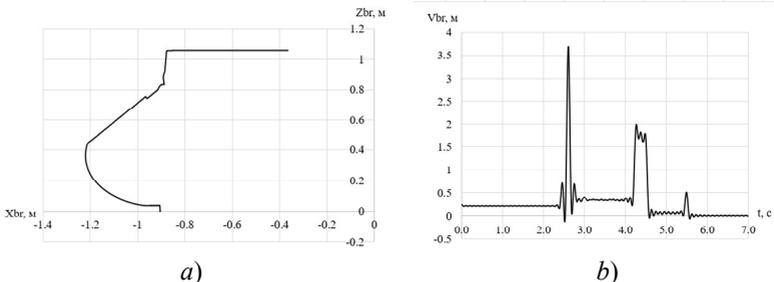


Рис. 8. Кинематические характеристики движения брикета: а) траектория движения в плоскости посадки; б) скорость брикета

Fig. 8. Kinematic characteristics of the movement of the briquette: a) the trajectory of movement in the landing plane; b) the speed of the briquette

В начальный момент времени скорость брикета соответствует скорости подачи рамы машины, в момент работы подающего механизма резко возрастает, в момент захвата снижается, а на угле разворота цепи на 90 градусов снова имеется пик, после чего происходит установка брикета в почву и скорость падает до нуля.

Ролики расположены на тягах, которые соединены пружинами с «Лучом». Жесткость пружин  $c_{\text{pr}} = 5000$ , коэффициент диссипации  $d_{\text{pr}} = 10$ , усилие предварительного натяжения  $F_{\text{pr}} = 10$  Н. Сила на пружине и траектория движения роликов в проекции на плоскость XOY показаны на рис. 9.

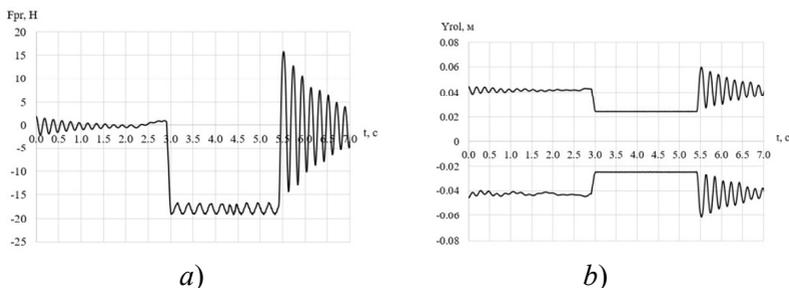


Рис. 9. Параметры подпружиненных роликов: а) сила на пружине тяг роликов; б) перемещение левого и правого роликов

Fig. 9. Parameters of spring-loaded rollers: a) the force on the spring of the roller rods; b) the movement of the left and right rollers

Величина силы на тканевых зажимах показана на рис. 10.

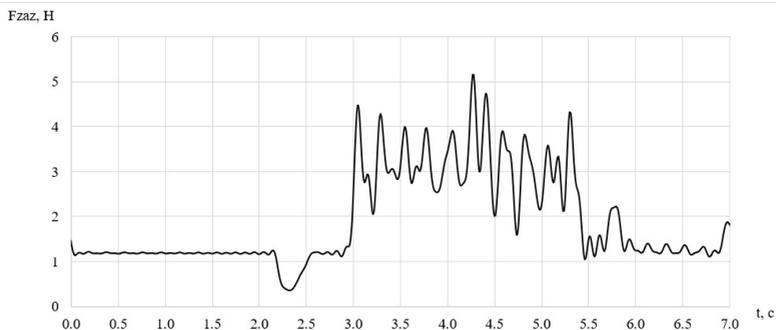


Рис. 10. Изменение силы на тягах с присоединёнными тканевыми зажимами  
Fig. 10. Changing the force on the rods with attached fabric clips

В начале движения тканевые зажимы подпружинены с силой 1Н, в момент разворота «Луча» происходит снижение силы, далее при захвате и сжатии зажимов её увеличение до 4 Н и возвращение к 1Н после раскрытия захватов.

*Выводы:*

1. Полученные аналитически системы уравнений могут быть использованы для описания движения тел по сложным траекториям;
2. Разработанная имитационная модель цепного лесопосадочного аппарата позволила установить характеристики движения брикета саженца, позволяющие установить его в грунт, а также силовые параметры, необходимые для его удержания в захватах;
3. Имитационная модель разработана в отечественном программном обеспечении, что позволяет использовать её для обоснования параметров цепных лесопосадочных машин при проведении импортозамещения.

*Сведения о финансировании исследования.* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10010.

*Благодарности.* Авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Библиографический список**

*Бартенев И.М.* Лесопосадочные машины. Теория. Исследование. Конструкции: монография. Воронеж: ВГЛТУ, 2015. 219 с.

*Бартенев И.М., Бухтояров Л.Д., Попиков В.П., Придворова А.В.* Имитационная модель обрезчика ветвей в САПР // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 1(37). С. 153-160. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.1/20.

*Беляев А.Н., Тришина Т.В., Новиков А.Е., Дьяченко Ю.В., Высоцкая И.А.* Исследование движения колесной машины по криволинейной траектории // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021. Т. 14. № 4(71). С. 21–29. DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2021\_4\_21

*Жданов Ю.М.* Исследование и обоснование технологии заделки корневой системы сеянцев и параметров заделывающих элементов лесопосадочных машин : дисс. ... канд. техн. наук: 05.00.00. Волгоград, 1969. 196 с.

*Клубничкин В. Е., Клубничкин Е.Е., Горбунов А.Ю., Дручинин Д.Ю.* Разработка узла сочленения лесной погрузочно-транспортной машины // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 4(40). С. 217–226.

*Титов П.И.* Совершенствование технологического процесса и конструкции лесопосадочной машины для питомников : дисс. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Воронеж, 2006. 151 с.

*Шабанов М.Л.* Обоснование параметров сошника и рациональной компоновки рабочих органов лесопосадочной машины : дисс. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Воронеж, 2002. 152 с.

*Шавков М.В.* Обоснование параметров комбинированного сошника лесопосадочной машины : дисс. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Воронеж, 2013. 212 с.

*Bukhtoyarov L.D., Drapalyuk M.V., Pridvorova A.V.* Simulation of the movement of hedge cutter links in the Simulink application of the Matlab package // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Voronezh, 2021. No. 12004. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012004.

### References

*Bartenev I.M.* Forestry machines. Theory. Study. Designs: monograph. Voronezh: VGLTU, 2015. 219 p. (In Russ.)

*Bartenev I.M., Bukhtoyarov L.D., Popikov V.P., Pridvorova A.V.* Simulation model of a branch cutter in CAD. *Forestry Engineering Journal*, 2020, vol. 10, no. 1(37), pp. 153–160. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.1/20. (In Russ.)

*Belyaev A.N., Trishina T.V., Novikov A.E., Dyachenko Yu.I., Vysotskaya I.A.* Study of the movement of a wheeled vehicle along a curvilinear trajectory. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*, 2021, vol. 14, no. 4(71), pp. 21–29. DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2021\_4\_21 (In Russ.)

*Bukhtoyarov L.D., Drapalyuk M.V., Pridvorova A.V.* Simulation of the movement of hedge cutter links in the Simulink application of the Matlab package. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Voronezh, 2021. No. 12004. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012004.

*Klubnichkin V.E., Klubnichkin E.E., Gorbunov A.Y., Druchinin D.Y.* Development of the forwarder articulation joint. *Forestry Engineering Journal*, 2020, vol. 10, no. 4(40), pp. 217–226. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.4/18> (In Russ.)

*Shabanov M.L.* Substantiation of the coulter parameters and the rational layout of the working bodies of the forest planter: diss. ... cand. tech. Sciences: 05.21.01. Voronezh, 2002. 152 p. (In Russ.)

*Shavkov M.V.* Substantiation of the parameters of the combined coulter of a forest planter: diss. ... cand. tech. Sciences: 05.21.01. Voronezh, 2013. 212 p. (In Russ.)

*Titov P.I.* Improving the technological process and design of a tree planting machine for nurseries: diss. ... cand. tech. Sciences: 05.21.01. Voronezh, 2006. 151 p. (In Russ.)

*Zhdanov Yu.M.* Research and substantiation of the technology of embedding the root system of seedlings and the parameters of the embedding elements of forest planting machines: diss. ... cand. tech. Sciences: 05.00.00. Volgograd, 1969. 196 p. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 19.03.2024*

**Бухтояров Л.Д., Малюков С.В., Лысыч М.Н., Шавков М.В., Петков А.Ф., Попов М.А.** Имитационная модель для анализа кинематики лесопосадочного аппарата цепного типа // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 251. С. 301–314. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.251.301-314

В настоящее время при создании лесных культур почти повсеместно отдается предпочтение посадкам. Для охвата механизированной посадкой леса всех имеющихся площадей необходимо создание новых лесопосадочных машин. Одним из направлений совершенствования технологического процесса механизированной посадки является усовершенствование и разработка новых механизмов для подачи семян (саженцев) в посадочную шель, образуемую сошником. Для обоснования параметров лесопосадочного аппарата необходимо определить параметры движения его звеньев. Для анализа кинематики лесных машин используют автоматизированные программные продукты, такие как SolidWorks, Matlab/Simulink. Однако применение зарубежного программного обеспечения не отвечает современным тенденциям, поэтому нами были использованы отечественные программные комплексы. Трехмерная модель цепного лесопосадочного аппарата была выполнена в среде 3D-проектирования КОМПАС-3D. Полученные на основании геометрических параметров трехмерной модели аналитические системы уравнений были введены в разрабатываемую имитационную модель. Таким образом, имитационная модель движения цепного лесопосадочного аппарата разработана с учетом геометрических параметров конструкции и аналитических систем, описывающих движение захватов с саженцем. Проведённый в программном комплексе моделирования механических систем «Универсальный механизм 9.0» имитационный эксперимент позволил определить характеристики движения брикета саженца, необходимые для установки его в грунт, а также силовые параметры в захватах для его удержания. Установлены положения звеньев спроектированного рабочего органа лесопосадочной машины на всем протяжении времени моделирования. Определены моменты времени подачи саженца и брикета для заданных входных величин. Определены траектории движения брикета в плоскости посадки и его скорость. Определены силы на пружинах, достаточные для удержания в захватах саженца с брикетом.

**Ключевые слова:** лесопромышленный комплекс, лесопосадочные машины, кинематика, сажающий аппарат, имитационное моделирование.

**Bukhtoyarov L.D., Malyukov S.V., Lysych M.N., Shavkov M.V., Petkov A.F., Popov M.A.** Simulation model for analyzing the kinematics of chain-type forest planting machine. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2024, iss. 251, pp. 301–314 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.251.301-314

At present, planting is almost universally favored in the establishment of forest crops. In order to cover all available areas with mechanized planting it is necessary to create new forest planting machines. One of the directions of improving the technological process of mechanized planting is the improvement and development of new mechanisms for feeding seedlings (saplings) into the planting slot formed by the coulter. To justify the parameters of the forest planting apparatus, it is necessary to determine the movement parameters of its links. To analyze the kinematics of forest machines use automated software such as SolidWorks, Matlab/Simulink. However, the use of foreign software does not meet modern trends, so we used domestic software packages. The three-dimensional model of the chain planter was made in the 3D-design environment KOMPAS-3D. Analytical systems of equations obtained on the basis of geometric parameters of the three-dimensional model were entered into the developed simulation model. Thus, the simulation model of motion of the chain planting machine was developed taking into account the geometric parameters of the design and analytical systems describing the motion of the grippers with a seedling. The simulation experiment carried out in the software package of modeling mechanical systems «Universal Mechanism 9.0» allowed to determine the characteristics of the movement of the seedling briquette necessary for its installation in the ground, as well as force parameters in the grippers for its retention. The positions of the links of the designed working body of the planting machine are established throughout the simulation time. The time points of the seedling and briquette feeding for the specified input values are determined. The trajectories of the briquette movement in the landing plane and its speed are determined. The forces on the springs are determined, sufficient to hold the seedling with a briquette in the grips.

**Key words:** timber industry complex, planting machines, kinematics, planting machine, simulation modeling.

---

**БУХТОЯРОВ Леонид Дмитриевич** – доцент кафедры лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, кандидат технических наук, доцент. ORCID: 0000-0002-7428-0821. SPIN-код: 9081-6485. WoS ResearcherID: AAO-5129-2020. Scopus AuthorID: 57207453672.

394087, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия. E-mail: vglta-mlx@yandex.ru

**BUKHTOYAROV Leonid D.** – PhD (Technical), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forest Industry, Metrology, Standardization and Certification of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov. ORCID: 0000-0002-7428-0821. SPIN-code: 9081-6485. WoS ResearcherID: AAO-5129-2020. Scopus AuthorID: 57207453672.

394087. Timiryazev str. 8. Voronezh. Russia. E-mail: vglta-mlx@yandex.ru

**МАЛЮКОВ Сергей Владимирович** – доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, кандидат технических наук. ORCID: 0000-0003-2098-154X. SPIN-код: 9520-4147. WoS ResearcherID: N-2656-2016. Scopus AuthorID: 57202542928.

394087, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия. E-mail: malyukovsergey@yandex.ru

**MALYUKOV Sergey V.** – PhD (Technical), Associate Professor Department of Forestry Mechanization and Machine Design of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov. ORCID: 0000-0003-2098-154X. SPIN-code: 9520-4147. WoS ResearcherID: N-2656-2016. Scopus AuthorID: 57202542928.

394087. Timiryazev str. 8. Voronezh. Russia. E-mail: malyukovsergey@yandex.ru

**ЛЫСЫЧ Михаил Николаевич** – доцент кафедры лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, кандидат технических наук. ORCID: 0000-0002-3764-3873. SPIN-код: 3555-2111. WoS ResearcherID: N-3089-2016. Scopus AuthorID: 57207472657.

394087, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия. E-mail: miklynea@yandex.ru

**LYSYCH Mikhail N.** – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Forest Industry, Metrology, Standardization and Certification of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov. ORCID: 0000-0002-3764-3873. SPIN-code: 3555-2111. WoS ResearcherID: N-3089-2016. Scopus AuthorID: 57207472657.

394087. Timiryazev str. 8. Voronezh. Russia. E-mail: miklynea@yandex.ru

**ШАВКОВ Михаил Викторович** – руководитель отдела логистики и снабжения ООО «Русгидроком (РГК)», кандидат технических наук. ORCID: 0000-0003-3700-7508. SPIN-код: 1307-0358.

394040, ул. Мазлумова, д. 25, г. Воронеж, Россия. E-mail: shavkovmv@mail.ru

**SHAVKOV Mikhail V.** – PhD (Technical), Head of Logistics and Supply Department, Rushydrocom (RGK) LLC. ORCID: 0000-0003-3700-7508. SPIN-code: 1307-0358.

394040. Mazlumova str. 25. Voronezh. Russia. E-mail: shavkovmv@mail.ru

**ПЕТКОВ Александр Федорович** – инженер кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова. ORCID: 0000-0002-1765-6781. SPIN-код: 9778-7114. Scopus AuthorID: 57219482677.

394087, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия. E-mail: alexanderpetkoff@mail.ru

**PETKOV Aleksandr F.** – Engineer of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov. ORCID: 0000-0002-1765-6781. SPIN-code: 9778-7114. Scopus AuthorID: 57219482677.

394087, Timiryazev str. 8, Voronezh, Russia. E-mail: alexanderpetkoff@mail.ru.

**ПОПОВ Максим Александрович** – аспирант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова». SPIN-код: 9081-4128.

394087, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия. E-mail: popovmaxim98@mail.ru

**POPOV Maxim A.** – PhD student of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov. SPIN-code: 9081-4128.

394087, Timiryazev str. 8, Voronezh, Russia. E-mail: popovmaxim98@mail.ru