

Исследование кинематических и динамических характеристик сошника лесной сеялки для питомников Воронежской области с применением блочно-ориентированной имитационной модели

М.В. Драпалюк^a, Л.Д. Бухтояров^b, М.А. Гнусов^c, Н.О. Ушаков^d

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Тимирязева, 8, Воронеж, Россия

^amd@vglta.vrn.ru, ^bvglta-mlx@yandex.ru, ^cmgnusov@yandex.ru, ^dushakov-racing@mail.ru

^a<https://orcid.org/0000-0002-8029-2706>, ^b<https://orcid.org/0000-0002-7428-0821>,

^c<https://orcid.org/0000-0003-1653-4595>

Статья поступила 08.04.2021, принята

Направления развития многих стран в части пользования ресурсами нашей планеты остро обсуждаются как лидерами, так и обществом в целом. На сегодняшний день актуально вопросы по защите, восстановлению и увеличению лесных площадей. Направления, связанные с компьютерной математикой, с каждым годом пополняют и совершенствуют арсенал средств, позволяющих просчитывать и имитировать различные процессы. В работе использован пакет Simscape Multibody Link. Данный пакет предусматривает возможность моделирования механических систем. Преимущество такого вида исследования заключается в том, что появляется возможность экспортировать модель сборки из программного обеспечения САД. Модель сошника сеялки для лесных питомников выполнена в приложении для инженерных расчётов SolidWorks. Проведено исследование кинематических и динамических характеристик сошника лесной сеялки для питомников с применением блочно-ориентированной имитационной модели. Данное исследование описывает процесс изучения сошника сеялки для лесных питомников. Нами была разработана конструкция сошника для сеялки лесной. Основная цель данного изобретения заключается в снижении энергоёмкости процесса посева семян, упрощении конструкции устройства для посева семян и повышении качества посева. В ходе проведения исследования нами с помощью программы для автоматизированного проектирования Solidworks была создана 3D модель сошника сеялки для лесных питомников, учитывающая его геометрические и массовые характеристики. Полученные динамические параметры позволяют рассчитывать нагрузки в звеньях и оптимально подбирать их геометрические параметры и материал. Разработанная имитационная модель даёт возможность рассчитывать и кинематические характеристики движения звеньев, однако для рассматриваемого случая они представляют собой сравнительно простые траектории.

Ключевые слова: Сошник, лесная сеялка, модель, исследование, восстановление леса, лесной питомник.

Investigation of the kinematic and dynamic characteristics of a plowshare of the seeder for forest nurseries of the Voronezh region using a block-oriented simulation model

M.V. Drapalyuk^a, L.D. Bukhtoyarov^b, M.A. Gnusov^c, N.O. Ushakov^d

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov; 8, Timiryazev St., Voronezh, Russia

^amd@vglta.vrn.ru, ^bvglta-mlx@yandex.ru, ^cmgnusov@yandex.ru, ^dushakov-racing@mail.ru

^a<https://orcid.org/0000-0002-8029-2706>, ^b<https://orcid.org/0000-0002-7428-0821>,

^c<https://orcid.org/0000-0003-1653-4595>

Received 08.04.2021, accepted 09.03.2021

Directions for the development of many countries in terms of the use of our planet's resources are acutely discussed by both leaders and society as a whole. To date, issues are relevant to protecting, restoring and increasing forest areas. The directions associated with computer mathematics are replenished every year and improve the arsenal of means. To calculate and imitate various processes, the Simscape Multibody Link package is used. This package provides for the possibility of modeling mechanical systems. The advantage of this type of research is that it makes possible to export the assembly model from CAD software. The model of a plowshare of the forest nursery seeder is made in the application for SolidWorks engineering calculations. A study was conducted by the kinematic and dynamic characteristics of the plowshare of the forest nursery seeder using a block-oriented simulation model. This study describes the process of studying the plowshare of the forest nursery seeder. A plowshare design for the forest seeder is developed. The main purpose of this invention is to reduce the energy intensity of the seed sowing process, simplify the design of the device for sowing seeds and improving the quality of sowing. In the course of the study, using the Solidworks CAD program, a 3D model of the plowshare of the forest nursery seeder was created, taking into account its geometric and mass characteristics. The obtained dynamic parameters will make it possible to calculate the loads in the links and optimally select their geometric parameters and material. The developed simulation model also allows calculating the kinematic characteristics of the movement of the links, however, for the case under consideration, they are relatively simple trajectories.

Keywords: plowshare, forest seeder, model, exploration, reforestation, forest nursery.

Введение. Направления развития многих стран в части пользования ресурсами нашей планеты остро обсуждаются как лидерами, так и обществом в целом. На сегодняшний день актуальные вопросы по защите, восстановлению и увеличению лесных площадей [1, 2]. Последние годы лесные пожары принесли серьёзные потери лесному фонду, также серьёзный убыток наносит деятельность человека, строительство заводов, увеличение масштаба городов [3, 4]. На основании статьи ЛК РФ №19 «Мероприятия по сохранению лесов». Мероприятия по сохранению лесов, в том числе работы по охране, защите, воспроизводству лесов, лесоразведению, осуществляются органами государственной власти, органами местного самоуправления в пределах их полномочий, определенных в соответствии со статьями 81 - 84 настоящего Кодекса, и лицами, которые используют леса и (или) на которых настоящим Кодексом возложена обязанность по выполнению таких работ и статьи ЛК РФ № 62 «Лесовосстановление». Лесовосстановление осуществляется естественным, искусственным или комбинированным способом в целях восстановления вырубленных, погибших, поврежденных лесов, а также сохранения полезных функций лесов, их биологического разнообразия. Лесовосстановление осуществляется на основании проекта лесовосстановления лицами, осуществляющими рубки лесных насаждений в соответствии с настоящим Кодексом, за исключением случаев, предусмотренных частями 2 и 4 статьи 29.1, статьей 30, частью 4.1 статьи 32 настоящего Кодекса. Правила лесовосстановления устанавливаются уполномоченным федеральным органом исполнительной власти. Также стоит отметить, что в ходе совещания о развитии и декриминализации лесного комплекса, проводимого 29.09.2020 года, в котором приняли участие руководители федеральных министерств и ведомств, Президентом РФ было отмечено, что существует проблема в лесной отрасли, вызванная недостаточным объёмом и качеством лесохозяйственных мероприятий, направленных на сбережение лесов, а также обеспечение их защиты и воспроизводства. В соответствии с «Основами государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года», утверждёнными распоряжением Правительства РФ от 26 сентября 2013 года № 1724-р, для реализации государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов необходимо, наряду с социальными и экономическими задачами, интенсифицировать использование и воспроизводства лесов, повысить продуктивности и улучшить породный состав лесов на землях различного целевого назначения. Темпы и объёмы гибели зелёной среды обитания человека, диктуемые природными катаклизмами - пожары, ураганы, изменение климатических условий, естественной гибелью – болезни, возраст лесного массива, промышленной деятельностью человека – хозяйственное потребление, развитие производств и городов и т.д. [5] Указанная проблематика требует непрерыв-

ных поставок лесовосстановительного материала в виде семян и саженцев [6].

Направления, связанные с компьютерной математикой, с каждым годом пополняют и совершенствуют арсенал средств, позволяющих просчитывать и имитировать различные процессы. В работе использован пакет Simscape Multibody Link [7, 8]. Данный пакет предусматривает возможность моделирования механических систем [9]. Преимущество такого вида исследования заключается в том, что появляется возможность экспортировать модель сборки из программного обеспечения CAD [10]. Модель сошника сеялки для лесных питомников выполнена в приложении для инженерных расчётов SolidWorks.

На ранних этапах проведения исследования одной из важных задач является определение наиболее достоверных характеристик рабочего органа с учётом различных условий эксплуатации. Современные программные продукты обладают потенциалом для воспроизведения процессов проектирования [11, 12].

Целью работы является проведение исследований кинематических и динамических характеристик сошника лесной сеялки для питомников с применением блочно-ориентированной имитационной модели.

Объекты и методы исследования.

Данное исследование описывает процесс изучения сошника сеялки для лесных питомников. Нами была разработана конструкция сошника для сеялки лесной (рис. 1). Указанная цель достигается тем, что в способе посева семян, включающем нарезку посевной борозды, посев семян и их заделку, согласно изобретению, нарезку посевной борозды осуществляют путём вырезания в поперечном сечении слоя почвы П-образной формы и его подъёма с образованием пустоты над дном посевной борозды, а заделку семян, после их подачи в посевную борозду, – путём возвращения поднятого вырезанного слоя почвы в посевную борозду под действием собственной силы тяжести, не меняя взаимного положения верхнего подсушенного слоя.

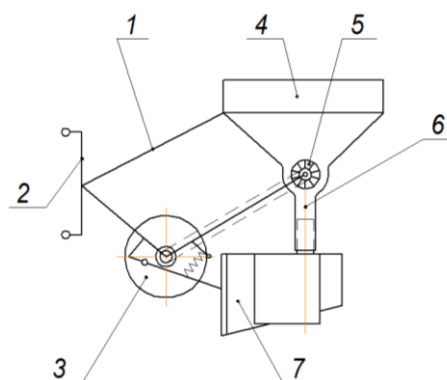


Рис. 1. Схема сеялки для лесных питомников

Основная ценность данного изобретения заключается в снижении энергоёмкости процесса посева семян, упрощении конструкции устройства для посева семян и повышении качества посева.

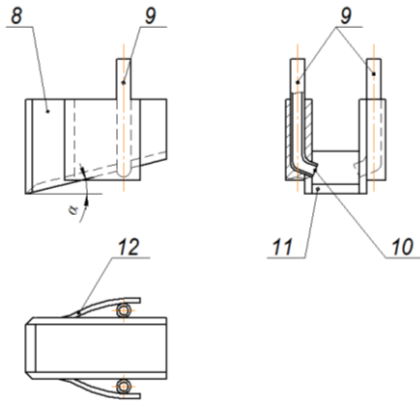


Рис. 2. Схема сошника сеялки для лесных питомников

В ходе проведения исследования нами с помощью программы для автоматизированного проектирования Solidworks была создана 3D модель сошника сеялки для лесных питомников, учитывающая его геометрические и массовые характеристики (рис. 3).

Для создания имитационной модели сошника в начале мировой системы координат (МСК) (0,0,0) расположим объект Pochva (подключенный к МСК через порт F3), описывающий ровный слой почвы относительно которого движется трактор с сошником. Через порты F, F1 и кинематические пары Planar1,2 подключим к почве два колеса – Koleso 1,2. Оба колеса соединим вращательными кинематическими парами Rev1,2 с рамой – Rama. К раме в свою очередь через порты F4-F1 присоединим вертикальные стенки ножа и предусмотрим возможность поворота лезвия относительно стоек с помощью кинематической пары Rev0, а саму величину зададим численным значением - Ang1. Создадим на конце лезвия порт F2, как показано на рис. 4.

Приложим к этому порту полученные путем имитационного моделирования реакции от контакта с почвой. Реакции зададим с помощью конструкторов сигнала (рис. 5), а для перевода в физический параметр

используем PS конвертеры, встроенные в Simulink (PS1,2,3).

К раме с помощью кинематической пары Cyl присоединим звено, регулирующее её наклон относительно плеча Regul. Возникающие при движении реакции в кинематической паре получим с помощью виртуального осциллографа Rcy1 (рис. 6).

Соединим звено регулятор – Regul с плечом Plecho с помощью вращательной кинематической пары Rev5. Возникающие при движении реакции в кинематической паре получим с помощью виртуального осциллографа RRev5 (рис. 7).

Между почвой (Pochva) и плечом (Plecho) установим угловое значение с помощью Ang2. К плечу с помощью жесткой заделки прикрепим фланец FITract. А к фланцу за его шарнир прикрепим тягу Тага. Тягу соединим с почвой с помощью кинематической пары Cartesian имеющей 6 степеней свободы. Зададим тяговое движение по трем осям OX,OY,OZ с помощью конструкторов сигнала Sx,y,z (рис. 8).

Таким образом трактор движется с постоянной скоростью по оси OX, а по двум другим осям на всем протяжении модельного времени его скорость равна нулю.

Реакцию в кинематической паре Rev3 получим с помощью виртуального осциллографа RRev3 (рис. 9).

Полученные динамические параметры позволяют рассчитать нагрузки в звеньях и оптимально подобрать их геометрические параметры и материал.

Разработанная имитационная модель также позволяет рассчитать и кинематические характеристики движения звеньев, однако для рассматриваемого случая они представляют собой сравнительно простые траектории. На рис. 10 показаны траектории движения лезвия в почве для случая постоянного угла наклона плеча относительно почвы. Ширина канала 0.5 м, ширина лезвия 8 см.

Общий вид имитационной модели приведён на рис. 11.

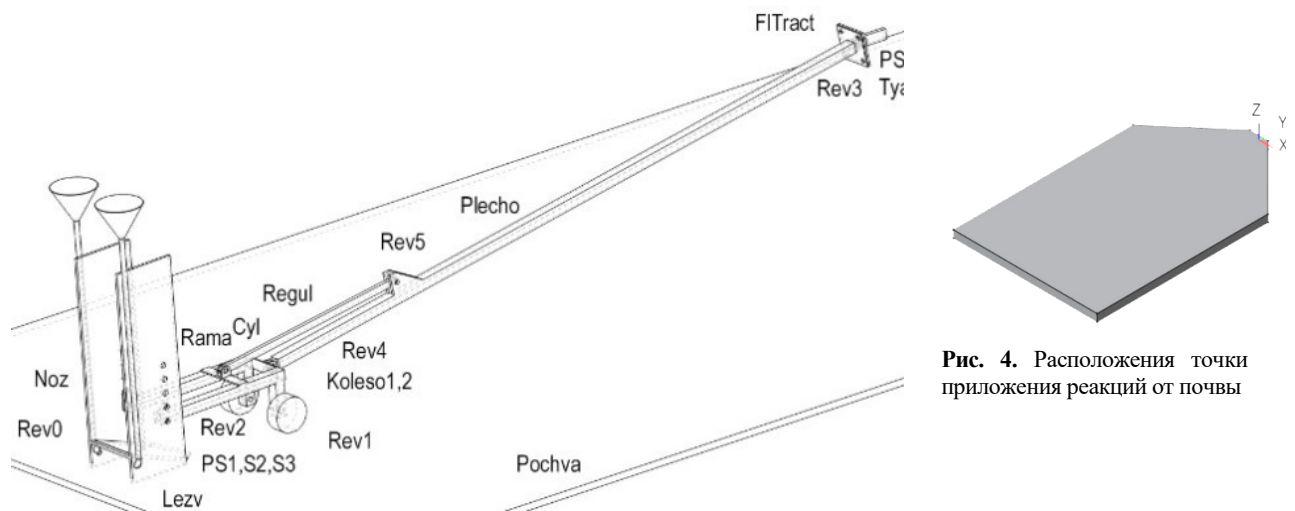
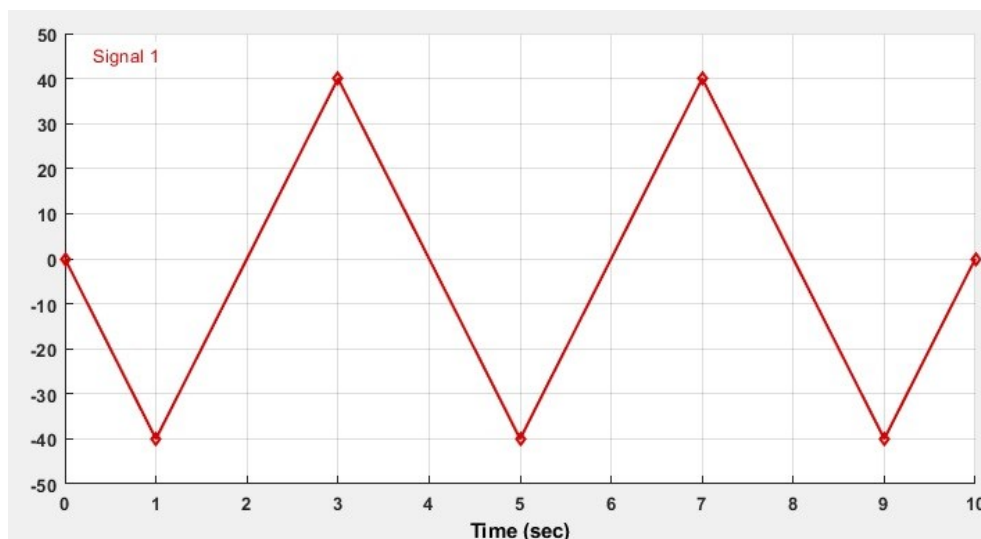
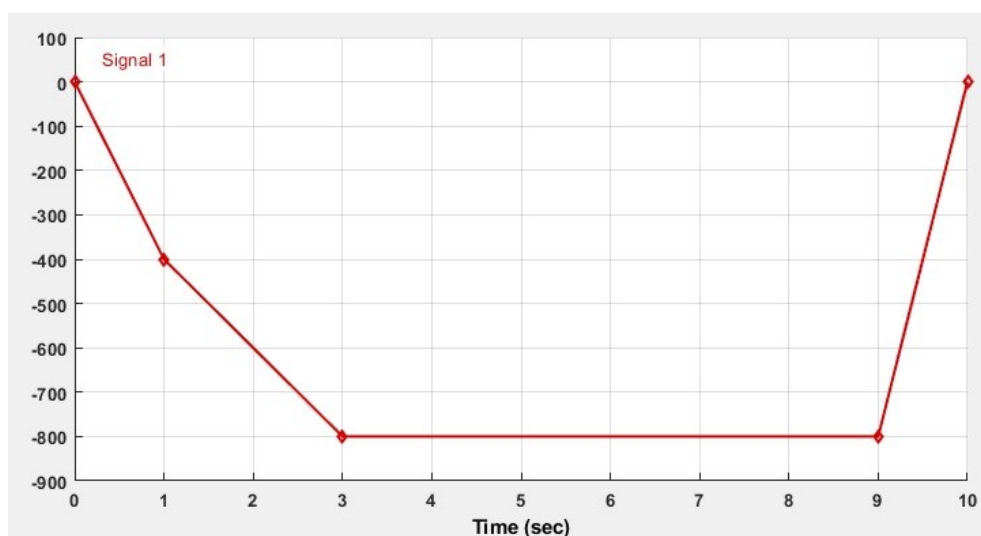


Рис. 3. Общий вид трехмерной модели сошника

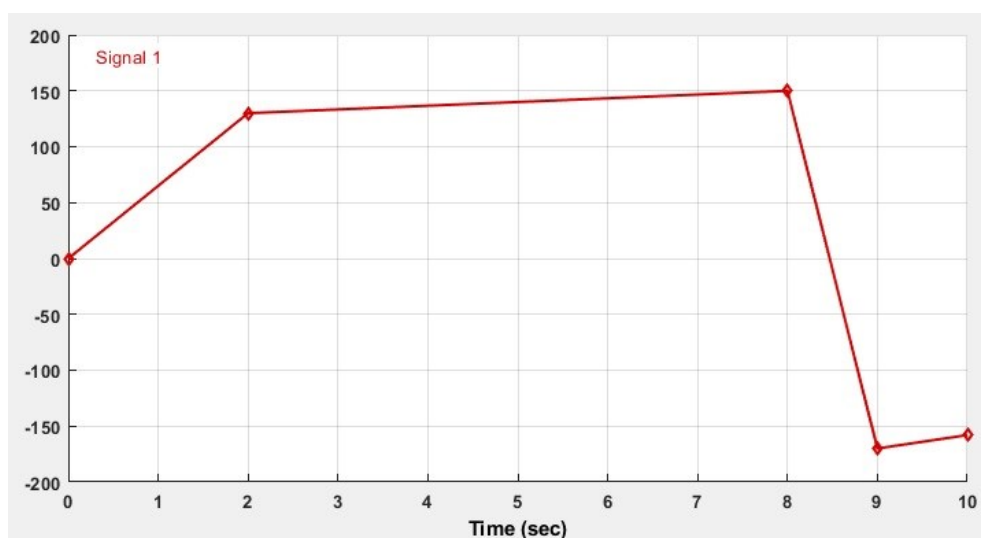
Рис. 4. Расположения точки приложения реакции от почвы



а



б



в

Рис. 5. Реакции от действия почвы на нож а- R_x , б - R_y в - R_z , Н

Rx, y, z H

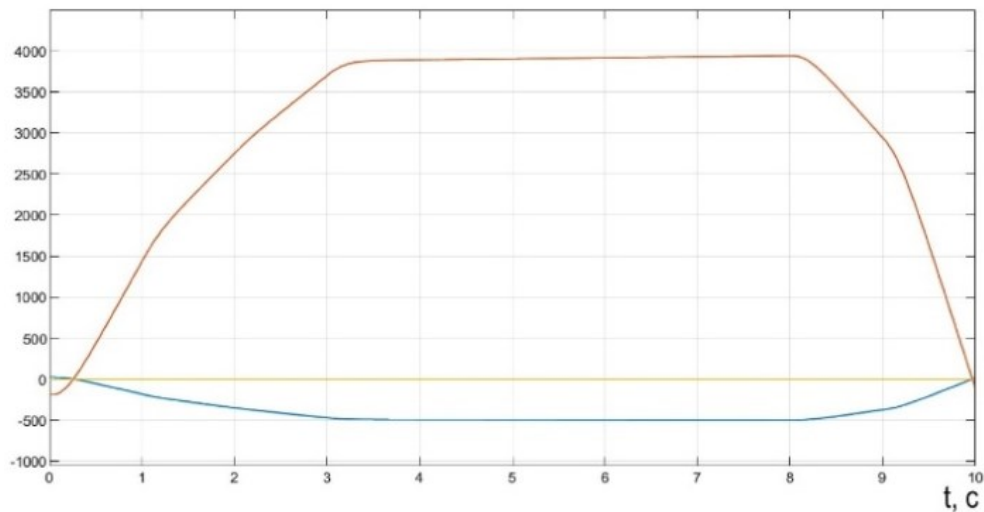


Рис. 6 Реакции в шарнире Cy1

Rx, y, z H

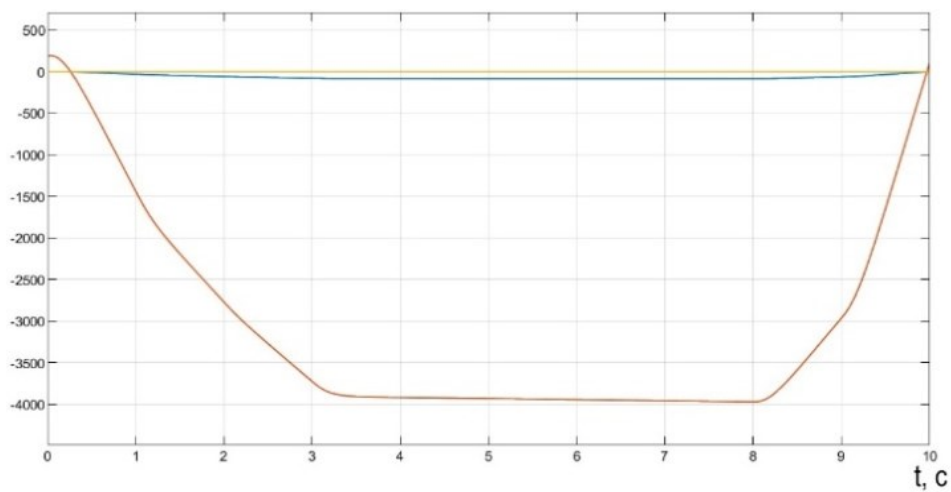
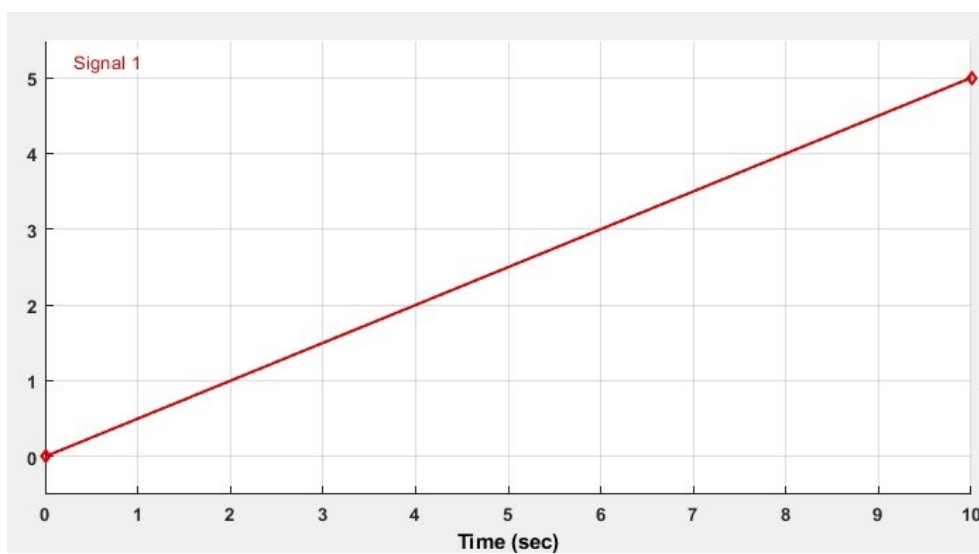
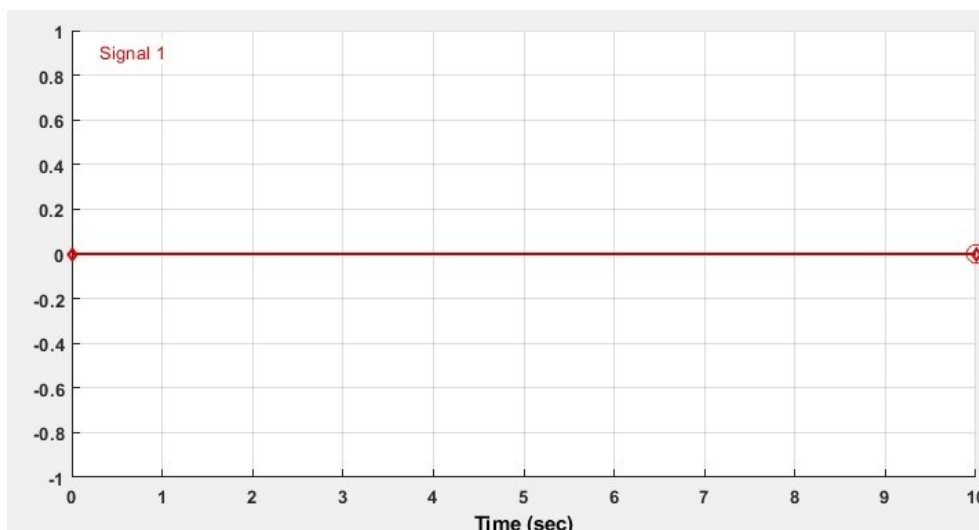


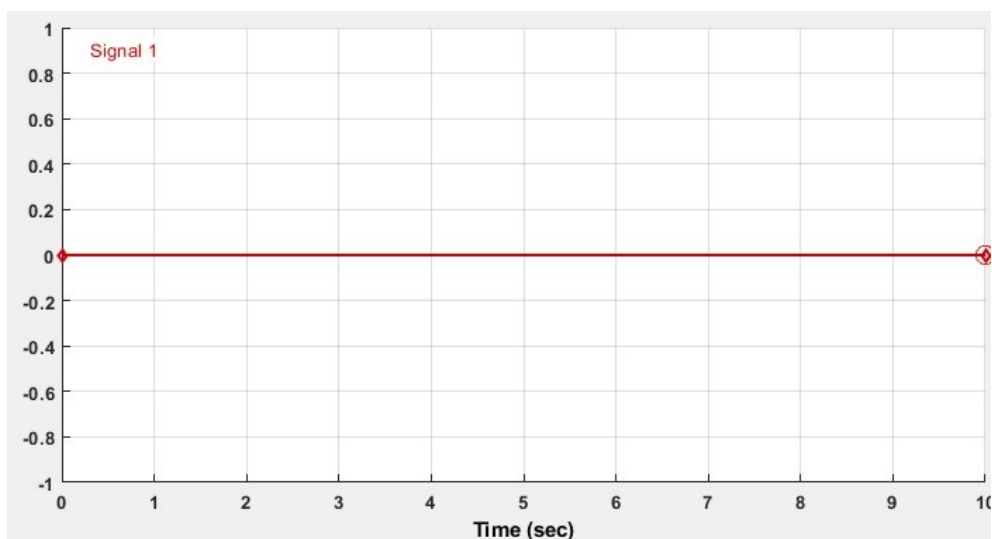
Рис. 7. Реакции в шарнире RRev5



a



б



в

Рис. 8. Тяговые перемещения навески трактора а- OX б – OY, в - OZ

R_x, y, z Н

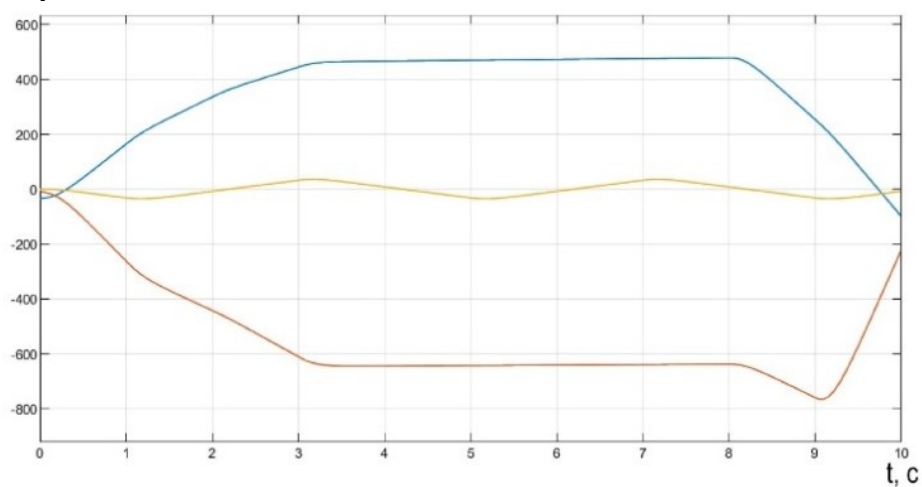


Рис. 9. Реакции в шарнире RRev3

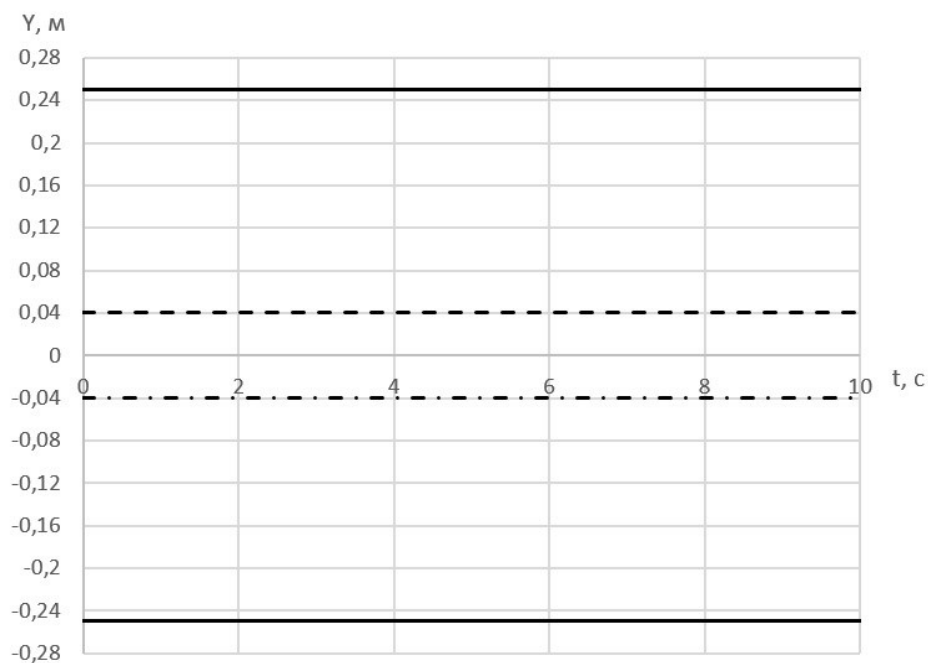


Рис. 10. Траектория движения лезвия относительно стенок почвенного канала

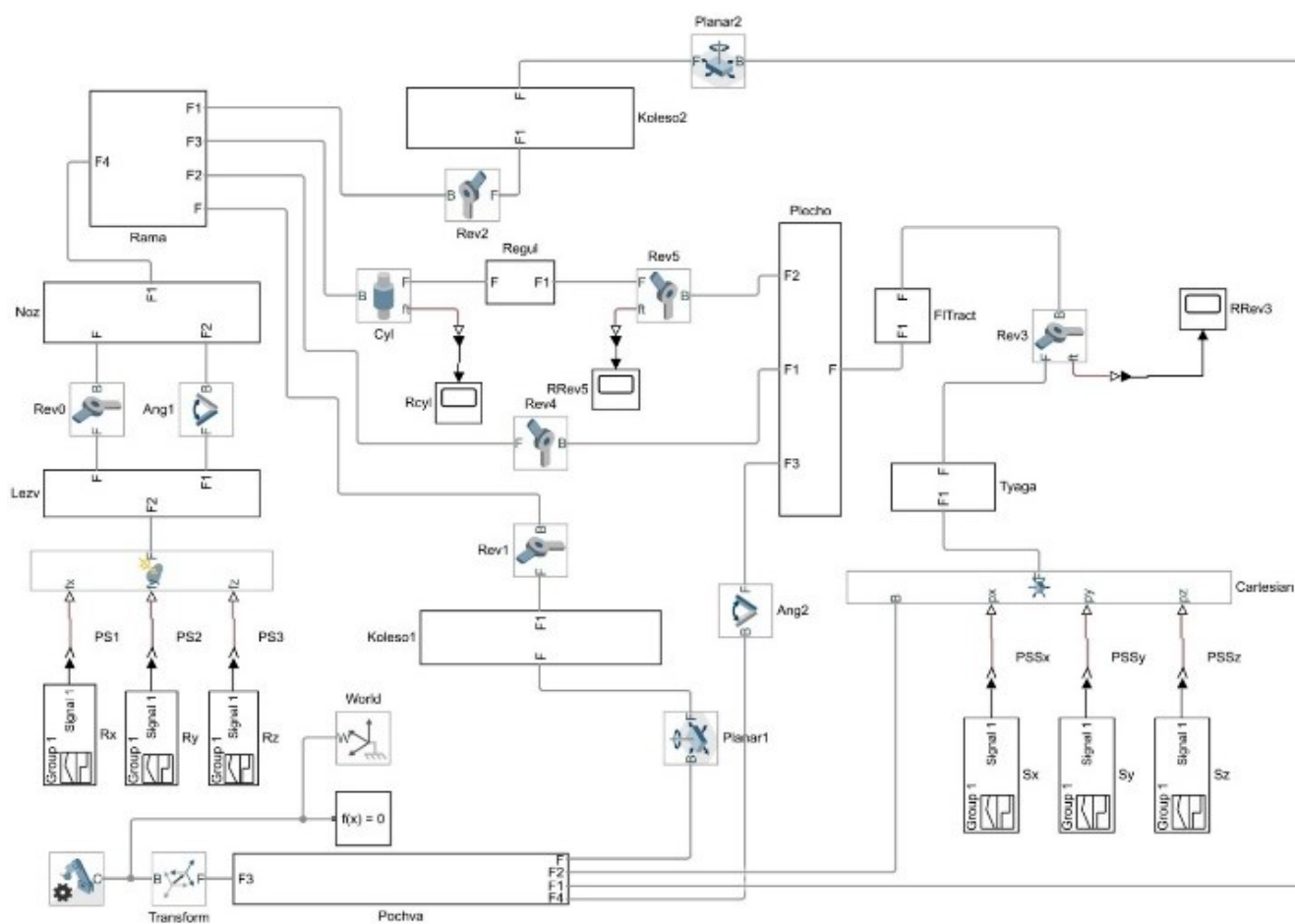


Рис. 11. Общий вид имитационной модели сошника

Заключение. Разработанная имитационная модель позволяет определить траектории движения звеньев сошника и обосновать влияние геометрических параметров на работу машины. Модель позволяет опреде-

лить реакции в местах соединения звеньев, так при возмущающих параметрах от действия сил сопротивления движению почвы, изменяющихся по осям в пределах $Ox \pm 40$, $Oy 0 \dots 800$, $Oz \pm 150N$ соответственно,

были рассчитаны реакции в месте соединения тяги с рамой шарнира RRev3, которые составили $Ox \pm 40$, Oy 0...-790, Oz 0...420 Н. Полученные результаты могут

быть использованы при оптимизации кинематических и динамических параметров сошника с учетом воздействия внешних возмущающих сил.

Литература

1. Бартнев И.М. К вопросу механизации посева дражированных лесных семян // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 1 (37). URL: <http://dx.doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.1/21>.
2. Пошарников Ф.В. Новые способы и технологические средства для высокоэффективного посева лесных семян в питомнике // Лесной вестн. Forestry bulletin. 2000. № 3. С. 105-111.
3. Александров В.А. Механизация лесного хоз-ва и садово-паркового стр-ва. СПб.: Лань, 2012. 526 с.
4. Барталев С.А. Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров // Лесоведение. 2015. № 2. С. 83-94.
5. Жигунов А.В., Семакова Т.А., Шабунин Д.А. Массовое усыхание лесов на северо-западе России // Лесобиологические исследования на северо-западе таёжной зоны России: итоги и перспективы: материалы науч. конф., посвящ. 50-летию Ин-та леса Карельского науч. центра РАН (3-5 окт. 2007 г.). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 42-52.
6. Соколов А.И., Харитонов В.А., Пеккоев А.Н., Кривенко Т.И. Сохранность и рост культур сосны, созданных посадочным материалом с закрытой корневой системой в условиях Карелии // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2015. № 6 (348). С. 46-56.
7. Miller S. Modeling flexible bodies with Simscape multibody software // An Overview of Two Methods for Capturing the Effects of Small Elastic Deformations, Technical Paper, MathWorks. 2017.
8. Shpyakin I. Modeling of a Solar Arrays Deployment Process at Ground Tests of Mechanical Devices on Active Gravity Compensation Systems // 2018 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC). IEEE, 2018. С. 1-4.
9. Галданова А.С., Майтаева Д.В. Моделирование сложных систем в среде Matlab Simscape Multibody // Молодёжь и современные информ. технологии: сб. тр. XVII Междунар. науч.-практической конф. студентов, аспирантов и молодых учёных (17-20 фев. 2020 г.). Томск, 2020. С. 274-275.
10. Contreras B. Proposal of a Model of a Hexapod Robot of Hybrid Locomotion (Extremities-Wheels) // Workshop on Engineering Applications. Springer, Cham, 2019. P. 394-405.
11. Alkamachi A. Integrated SolidWorks and Simscape platform for the design and control of an inverted pendulum system // Journal of Electrical Engineering. 2020. V. 71. № 2. P. 122-126.
12. Gurel C.S. Modeling and Robot Simulation in MapleSim and SimMechanics Environments.

References

1. Bartenev I.M. On the mechanization of seeding pelleted forest seeds // Forestry Engineering Journal. 2020. V. 10. № 1 (37). URL: <http://dx.doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.1/21>.
2. Posharnikov F.V. New methods and technological means for highly efficient sowing of forest seeds in the nursery // Lesnoy vestn. Forestry bulletin. 2000. № 3. P. 105-111.
3. Aleksandrov V.A. Mechanization of forestry and landscape gardening. SPb.: Lan', 2012. 526 p.
4. Bartalev S.A. Satellite assessment of the destruction of Russian forests from fires // Russian Journal of Forest Science. 2015. № 2. P. 83-94.
5. Zhigunov A.V., Semakova T.A., Shabunin D.A. Mass drying of forests in the north-west of Russia // Lesobiologicheskie issledovaniya na severo-zapade tayozhnoy zony Rossii: itogi i perspektivy: materialy nauch. konf., posvyashch. 50-letiyu Inta lesa Karel'skogo nauch. centra RAN (3-5 okt. 2007 g.). Petrozavodsk: KarNC RAN, 2007. P. 42-52.
6. Sokolov A.I., Haritonov V.A., Pekkoev A.N., Krivenko T.I. Safety and growth of pine crops created by planting material with a closed root system in the conditions of Karelia // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2015. № 6 (348). P. 46-56.
7. Miller S. Modeling flexible bodies with Simscape multibody software // An Overview of Two Methods for Capturing the Effects of Small Elastic Deformations, Technical Paper, MathWorks. 2017.
8. Shpyakin I. Modeling of a Solar Arrays Deployment Process at Ground Tests of Mechanical Devices on Active Gravity Compensation Systems // 2018 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC). IEEE, 2018. P. 1-4.
9. Galdanova A.S., Majtaeva D.V. Modeling of complex systems in the Matlab Simscape Multibody environment // Molodyozh' i sovremennye inform. tekhnologii: sb. tr. XVII Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. studentov, aspirantov i molodyh uchyonyh (17-20 fev. 2020 g.). Tomsk, 2020. P. 274-275.
10. Contreras B. Proposal of a Model of a Hexapod Robot of Hybrid Locomotion (Extremities-Wheels) // Workshop on Engineering Applications. Springer, Cham, 2019. P. 394-405.
11. Alkamachi A. Integrated SolidWorks and Simscape platform for the design and control of an inverted pendulum system // Journal of Electrical Engineering. 2020. V. 71. № 2. P. 122-126.
12. Gurel C.S. Modeling and Robot Simulation in MapleSim and SimMechanics Environments.