

УДК 004.942:631.31

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ЛЕСНОГО ДИСКОВОГО РЫХЛИТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ САПР

**Лысыч М.Н., Шабанов М.Л., Иконников Р.В.**

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова»,  
Воронеж, e-mail: miklynea@yandex.ru*

Рассмотрен процесс имитационного моделирования работы лесного дискового рыхлителя с использованием средств САПР SolidWorks и интегрированного приложения для инженерных расчетов SolidWorks Motion. Имитационное моделирование проводилось над 3d-моделями орудия, устанавливаемыми на виртуальном испытательном стенде. При моделировании были получены кинематические и динамические показатели процесса преодоления различных препятствий. При этом проводились сравнительные испытания рыхлителя с пассивными и активными рабочими органами, работающими в различных скоростных режимах. Эксперимент доказал, что рыхлитель способен преодолевать препятствия различной формы (пни, валуны, валуны, корневые лапы), высотой до 40 см от уровня почвы, при различных режимах работы. Также были проведены исследования 3d-модели МТА в целом. Они подтвердили высокую проходимость орудия и общую маневренность МТА.

**Ключевые слова:** дисковый рыхлитель, САПР, 3D-моделирование, инженерный анализ, лесные вырубки

## RESEARCH OF WORKING PROCESS FOREST DISK RIPPER WITH USE OF POSSIBILITIES CAD

**Lysych M.N., Shabanov M.L., Ikonnikov R.V.**

*Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, e-mail: miklynea@yandex.ru*

The process simulation of the forest disc cultivator using CAD tools SolidWorks and integrated applications for engineering calculations in SolidWorks Motion. Simulation was performed on 3d-models of tools installed on a virtual test bench. In the simulation was obtained by kinematic and dynamic parameters of the process of overcoming various obstacles. Thus, we conducted comparative tests of the disc ripper with passive and active soil-cultivating tools, working in different speed modes. The experiment proved that the disc ripper is able to overcome the obstacles of various shapes (stumps, fallen trees, boulders, buttress root), height to 40 cm from soil level, with different modes of operation. Also studies have been conducted of the 3d-model of the machine and tractor unit as a whole. They confirmed the high permeability of the disc ripper and general maneuverability of the machine and tractor unit.

**Keywords:** disc ripper, CAD, 3D-modeling, engineering analysis, wood cuttings down

С целью изучения вопросов компоновки рабочих органов, кинематики преодоления препятствий, динамики движения и прочностного анализа дискового рыхлителя была создана его твердотельная модель в САПР SolidWorks [5], имеющая две модификации: однодисковая – для тракторов тягового класса 14 кН (рис. 1, а) и двухдисковая – для тракторов тягового класса 30 кН (рис. 1, б). Рыхлитель состоит из сцепного устройства 1, коробчатой рамы 2 и двух подвижных рычагов 3, шарнирно сочлененных с рамой. На каждом рычаге установлено по дисковому рыхлящему рабочему органу 4, имеющему возможность свободного вращения за счет подшипникового узла 5. Рабочие органы удерживаются в требуемом положении при помощи гидроцилиндра 6. Вариант с активным приводом рабочих органов оснащается гидромотором 7.

Для исследования процесса преодоления препятствий рыхлителем в условиях

вырубки был создан виртуальный стенд (рис. 2). Он состоит из основания 1, направляющей 2 каретки 3 и условно обозначенной земли 4. На каретке, имеющей возможность прямолинейного движения без трения, закреплен дисковый рыхлитель 5. В основании устанавливается пень 6 с различным боковым смещением. Имитационное моделирование рабочего процесса реализуется в приложении для инженерных расчетов SolidWorks Motion [6].

На виртуальном стенде были проведены исследования различных вариантов работы рыхлителя: без принудительного привода; скорость вращения 20 об/мин (согласована со скоростью движения трактора 3,6 км/ч, отсутствует буксование внешней режущей кромки рабочего органа); скорость вращения 40 об/мин (осуществляется резание со скольжением); скорость вращения 80 об/мин (осуществляется интенсивное резание).

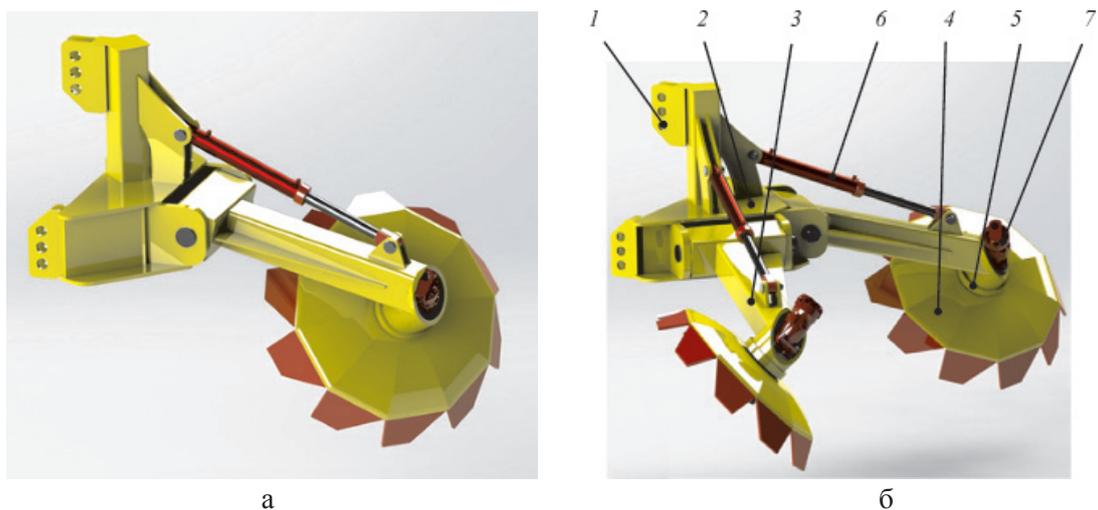


Рис. 1. Дисковый лесной рыхлитель:  
а – однодисковый вариант; б – двухдисковый вариант

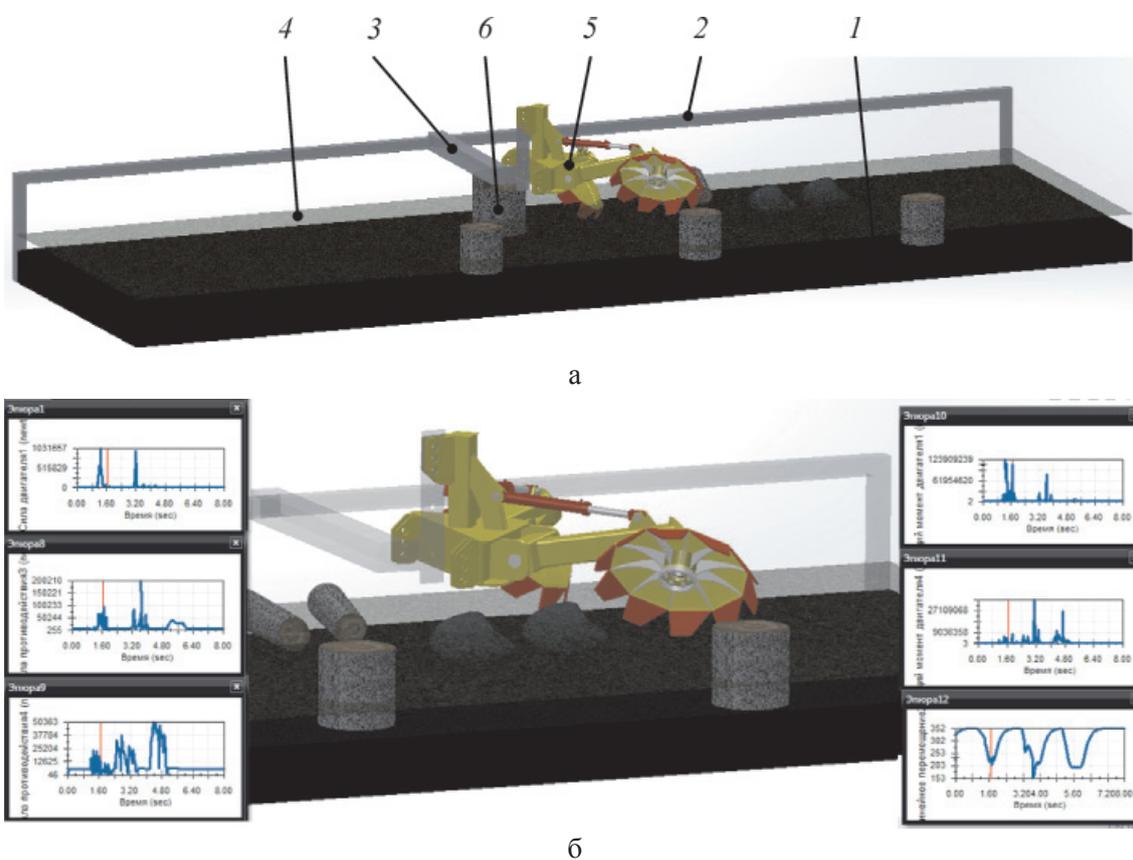


Рис. 2. Виртуальный стенд:  
а – общий вид; б – процесс моделирования с отслеживанием заданных параметров

При моделировании задавались следующие параметры: контакт твердых тел (орудие – препятствие) сталь – сталь; скорость движения 1 м/с; жесткость виртуальной пружины нагрузочного цилиндра 100 Н/мм; линейный демпфер 50 Н/(мм/с); имитация почвенного взаимодействия – постоянная

выталкивающая вертикальная сила; нормальная сила тяжести.

Проведенный кинематический и динамический анализ с использованием виртуального стенда позволил установить такие параметры, как перемещения, скорости, ускорения, моменты инерции, импульсы,

кинетические энергии рабочих органов и звеньев предохранительного механизма, силы, возникающие на виртуальном двигателе и в нагрузочных цилиндрах при различных вариантах взаимодействия с препятствиями.

Результаты моделирования приведены на рис. 3. Видно, что наибольшие нагрузки возникают в предохранительном механизме при рыхлящем диске, работающем со скоростью 80 об/мин это 30000, 40000 и 42000 Н для 1, 2 и пня соответственно. Однако разброс значений для разных скоростей вращения рабочих органов не превышает 5000 Н, что составляет разницу порядка 2700 Н на внешней режущей кромке рыхлящего диска.

Анализируя результаты проведенных исследований можно сделать вывод о том, что предлагаемая конструкция рыхлителя позволяет надежно преодолевать пни высотой 260 мм при глубине обработки 140 мм с различным боковым смещением. Нагрузки, возникающие при этом в предо-

хранительном механизме, могут достигать порядка 40000 Н. Несмотря на столь большие значения они весьма кратковременны и колеблются со значительной амплитудой. Это связано с тем, что рабочий орган и препятствия имеют параметры твердого тела и не могут смешаться в направлении перпендикулярном движению. Подобные жесткие условия задавались, чтобы проверить работу в наиболее сложных случаях. На практике к таким ситуациям в первую очередь относится одновременное взаимодействие двух рабочих органов с препятствиями, которое блокирует боковые смещения орудия. Данная ситуация может дополнительно осложняться если препятствия обладают высокой прочностью и твердостью (пни твердых пород, каменные включения) и не смешаются в процессе взаимодействия. В таких случаях решающее значение имеет геометрия рабочего органа в совокупности с параметрами предохранительного механизма.

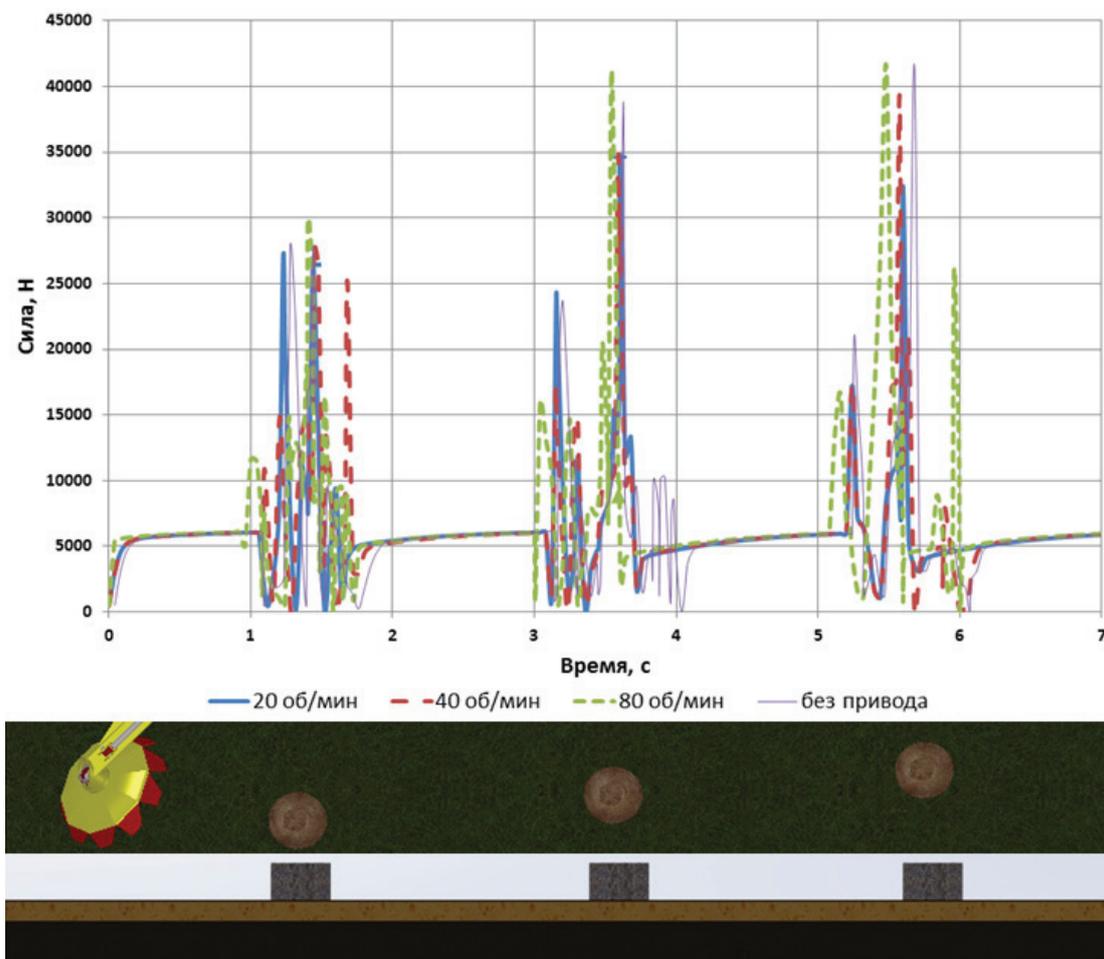


Рис. 3. Усилия, возникающие на штоке гидроцилиндра при преодолении пней высотой 260 мм при глубине обработки 140 мм

По результатам моделирования удалось доказать, что в процессе работы орудие может преодолевать препятствия различной формы максимальной высотой до 40 см от уровня почвы. Это доказывает, что проходимость агрегата ограничивается проходимостью тягового средства.

Небольшой вес орудия и наличие предохранительного механизма позволяет использовать с тракторами тягового класса 14 кН не только однодисковый активный рыхлитель, но и пассивный двухдисковый вариант при легких почвенных условия. В более сложных условиях с тракторами тягового класса 30 кН, для обеспечения высоких качественных показателей, рекомендуется использовать активный двухдисковый вариант рыхлителя.

Таким образом, предлагаемая конструкция дискового рыхлителя способна обеспечить высокую проходимость почвообрабатывающего агрегата в условиях нераскорчеванных вырубок, что делает возможным его применение в рамках эколого-ресурсосберегающих технологий лесовосстановления, исключая корчевку пней. Такое минимальное воздействие на оставшийся подрост и экологию вырубки в целом наилучшим образом соответствует высоким экологическим требованиям при возобновлении леса, в особенности содействию естественному лесовосстановлению [3, 4].

Результаты виртуального эксперимента не позволили выявить существенных разли-

чий между динамической нагруженностью рабочего органа и скоростью его вращения. Вероятно, это связано со следующими причинами: работа рыхлителя со сравнительно небольшими скоростями вращения рабочего органа; режущая кромка зубьев имеет наклон, смягчающий удары о препятствия; частичный переход активных рабочих органов в пассивный режим при значительном росте усилия в момент въезда на препятствие.

Также была изучена форма профиля обрабатываемой борозды (рис. 4). Для этого был воссоздан компактный участок вырубки с различными препятствиями. Исследования позволили установить, что ширина образуемой борозды будет составлять в среднем 50 см ( $2 \times 50$  для двухдискового варианта) и расстояние между центрами борозд – 1,6 м (двухдисковый вариант).

Следующим этапом исследования было создание габаритных моделей сельскохозяйственных тракторов МТЗ-82 и МТЗ-1523 с сохранением массовых характеристик и положения центра тяжести реального трактора. Также было выполнено моделирование навесных устройств, полностью воспроизводящих реальную кинематику. Это позволило создать модель трактора пригодную не только для кинематических исследований, но и для полноценного математического моделирования работы агрегата в целом (рис. 5).

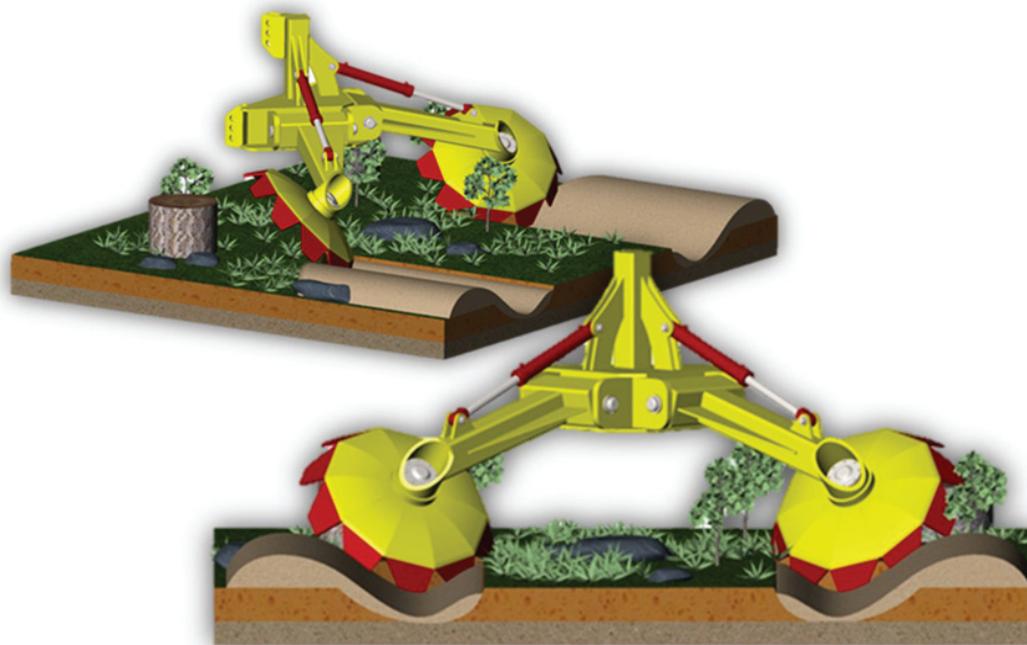


Рис. 4. Изучение технологического процесса нарезки борозд



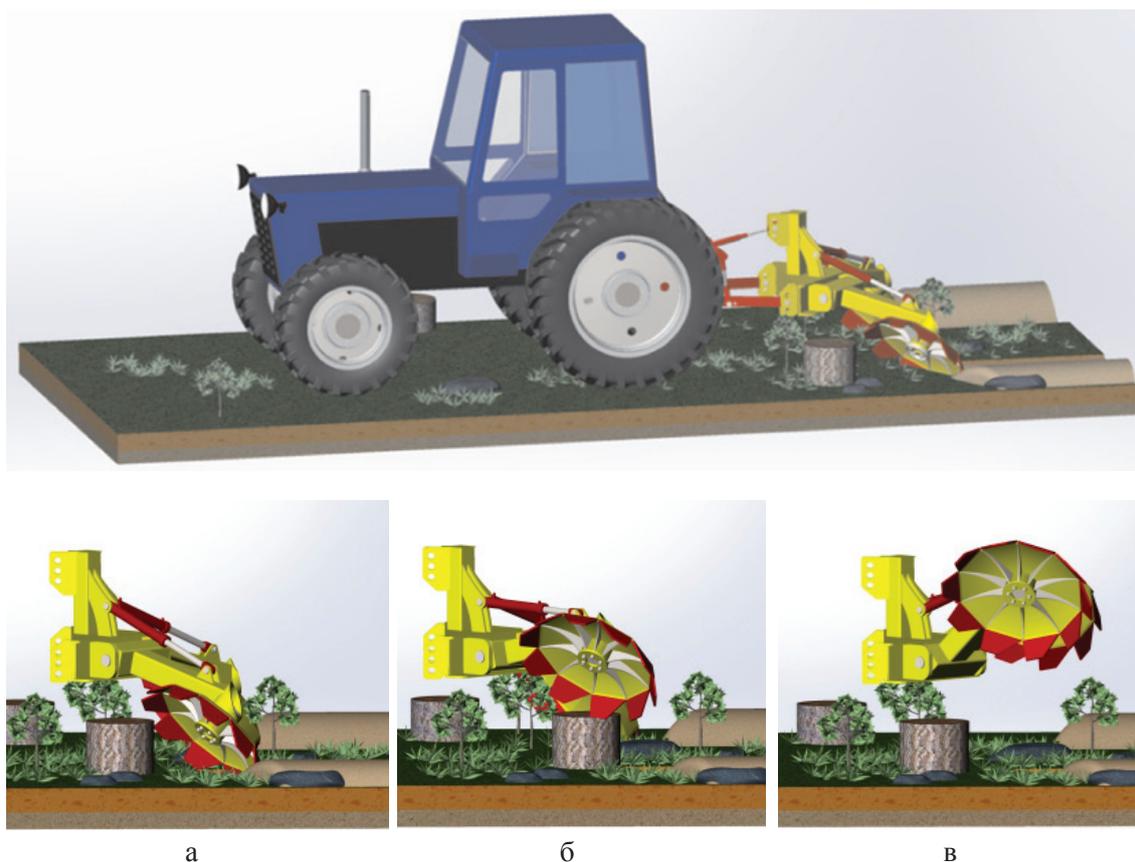
Рис. 5. Общий вид МТА:  
 а – на базе трактора МТЗ-82 (однодисковый рыхлитель);  
 б – на базе трактора МТЗ-1523 (двухдисковый рыхлитель)

Машинно-тракторный агрегат работает следующим образом. Агрегат производит заезд на обрабатываемый участок и за счет гидроцилиндра навесного устройства опускает дисковый рыхлитель до уровня почвы. Затем гидроцилиндры орудия опускают рыхлящие диски в рабочее положение, при необходимости на них передается часть веса трактора. В процессе движения агрегата дисковые рабочие органы приводятся во вращение либо от взаимодействия с почвой, либо гидромоторами, при этом осуществляется интенсивное рыхление поверхностного слоя (рис. 6, а). Одновременно с обработкой почвы производится частичная расчистка обрабатываемых полос за счет сдвига в стороны порубочных остатков рабочими органами.

При встрече с препятствиями диски перекачиваются через них за счет пово-

рота рычагов назад и вверх (рис. 6, б). Возврат рабочих органов и их удержание в требуемом положении осуществляется гидроцилиндрами. При необходимости переезда агрегата на новый участок или при маневрировании подъем рабочих органов в транспортное положение также осуществляется с использованием гидроцилиндров орудия (рис. 6, в).

В результате анализа технологических возможностей машинно-тракторного агрегата удалось доказать, что в процессе работы орудие может преодолевать препятствия различной формы и успешно маневрировать даже без использования навески трактора. Таким образом, общая проходимость агрегата ограничивается лишь проходимостью тягового средства.



*Рис. 6. Процесс работы МТА:  
а – на участке без препятствий; б – в процессе преодоления препятствий;  
в – при маневрировании*

Использованный подход моделирования с применением среды САПР позволил изучить и наглядно продемонстрировать некоторые важные аспекты функционирования перспективного агрегата. Однако это еще не все потенциальные возможности данного метода. Представленная модель МТА в дальнейшем может быть использована для создания расчетных моделей в приложениях для инженерных расчетов [1, 2, 6]. Это позволит моделировать рабочий процесс агрегата с учетом рельефа почвы, колебаний подвески трактора, его навесного устройства и предохранительных механизмов орудия.

#### Список литературы

1. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 445 с.: ил.

2. Алямовский А.А. SolidWorks Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский и др. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.: ил.

3. Бартнев И.М. Значение основной обработки почвы в развитии растений древесно-кустарниковых пород // Лесотехнический журнал. – 2015. – Т. 5, № 2 (18). – С. 149–158.

4. Бартнев И.М. Современные экологически сбалансированные, ресурсо- и энергосберегающие технологии лесовосстановления / И.М. Бартнев, И.Е. Донцов, М.Н. Лысыч; ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2008. – 21 с. Библиогр.: 20 назв. Рус. Деп. в ВИНТИ.

5. Лысыч М.Н. Дисковый лесной рыхлитель / М.Н. Лысыч, М.Л. Шабанов, Р.В. Иконников // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – Воронеж, 2015. – № 2, ч. 1 (13–1). – С. 60–64.

6. Лысыч М.Н. Моделирование работы почвообрабатывающих орудий в условиях вырубок / М.Н. Лысыч, М.Л. Шабанов, И.В. Левищев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – Воронеж, 2014. – № 2, ч. 2 (7–2). – С. 327–332.