

РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ СИЛОВОГО РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ КОРНЕЙ САЖЕНЦЕВ ЛЕЗВИЕМ РАБОЧЕГО ОРГАНА ВЫКОПОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

кандидат технических наук, доцент **Д.Ю. Дручинин**

кандидат технических наук **М.А. Гнусов**

кандидат технических наук, доцент **Н.А. Бородин**

магистр **А.С. Миляев**

студент магистратуры **М.Ю. Воскобойник**

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

В лесном и лесопарковом хозяйстве широко используются крупномерные древесные растения. Данный вид посадочного материала, обладающий определенными преимуществами перед обычными сеянцами и саженцами в виде лучшей сохранности и приживаемости, продления сезона посадки растений и снижения объемов подготовительных работ, пересаживается с почвенным комом специальной техникой. В ВГЛТУ проводятся исследования по созданию оборудования для выкопки крупномерных растений с комом почвы. Ранее были выполнены лабораторные эксперименты по оценке усилия резания корней древесных пород ножами различной конфигурации. Полученные данные дали возможность определить оптимальные геометрические параметры режущей кромки ножа – угол заточки 30° и угол при вершине косоугольного лезвия в 105° . Однако данная конфигурация режущего элемента не всегда обеспечивала срез корневой системы без повреждений. В данной работе представлено дальнейшее совершенствование конструкции выкопочного оборудования и развитие исследований силового перерезания корневой древесины режущими элементами различного профиля. При проведении экспериментов использованы ножи со следующей формой режущей кромки: горизонтальной, обеспечивающей горизонтальное резание плоским клином, а также косой и дугообразной для реализации скользящего резания. По результатам исследований определено, что наименьшее усилие перерезания обеспечивает применение ножа с дугообразной режущей кромкой. Установлено, что данная конфигурация ножа в совокупности с углом заточки режущей кромки 30° позволяет выполнить резание корней с минимальным сдавливанием и растрескиванием их поверхности.

Ключевые слова: лесное хозяйство, лесопарковое хозяйство, озеленение, крупномерный посадочный материал, выкопка саженцев, нож, перерезание корней, усилие, режущая кромка, угол заточки

RESEARCH DEVELOPMENT OF FORCE CUTTING OF SEEDLING ROOTS BY THE BLADE OF THE WORKING BODY OF PLANT LIFTERS

PhD (Engineering), Associate Professor **D.Yu. Druchinin**

PhD (Engineering) **M.A. Gnusov**

PhD (Engineering), Associate Professor **N.A. Borodin**

Master of Science **A.S. Milyaev**

Master's degree student **M.Yu. Voskoboynik**

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

Abstract

Large-sized woody plants are widely used in forestry and forest parks. This type of planting material, which has certain advantages over ordinary seedlings and seedlings in the form of better preservation and survival rate, prolonging the planting season and reducing the volume of preparatory work, is transplanted with a soil lump using special equipment. Research has been carried out to create equipment for digging out large-sized plants with a lump of soil. Previously, laboratory experiments were carried out to assess the effort of cutting the roots of tree species with blades of various configurations. The obtained data made it possible to determine the optimal geometric parameters of the cutting edge of the blade - the sharpening angle is 30° and the angle at the apex of the oblique blade is 105° . However, this configuration of the cutting element did not always provide a cut of the root system without damage. This paper presents further improvement of the design of plant lifters and the development of research on power cutting of root wood with cutting elements of various profiles. During the experiments, we used blades with the following cutting edge shape: horizontal, providing horizontal cutting with a flat wedge, as well as oblique and arcuate for sliding cutting. According to the research results, it was determined that the smallest cutting force is provided by the use of a blade with an arcuate cutting edge. It has been established that this blade configuration in combination with a cutting edge sharpening angle of 30° allows cutting the roots with minimal squeezing and cracking of their surface.

Keywords: forestry, gardening, large-sized planting material, seedling digging out, blade, cutting roots, effort, cutting edge, sharpening angle

Введение

В Воронежском государственном лесотехническом университете проводятся исследования по разработке средств механизации процесса получения крупномерного посадочного материала, корневая система которого скрыта почвенным комом [1]. Данный вид продукции лесных и декоративных питомников активно используется в озеленительных работах для благоустройства комфортной среды в различных функциональных зонах населенных пунктов и скорейшего достижения эстетического эффекта от ландшафтного дизайна [2, 3, 4]. Он также перспективен для сокращения сроков проведения агролесомелиоративных работ и создания семейственных лесосеменных плантаций [5].

Авторами предложена конструктивно-технологическая схема машины для выкопки саженцев с комом почвы, рабочий орган которой выполнен по принципу двуплечего рычага, поворачиваемого по полуокружности двумя гидроцилиндрами [1].

Для определения оптимальной формы и геометрических параметров режущего элемента рабочего органа выкопчного орудия ранее были проведены лабораторные исследования процесса силового перерезания древесины корней саженцев ножами с лезвием различной конфигурации – прямым, с углом при вершине 80° и с углом при вершине 105° . В экспериментах заточка лезвия каждого из ножей была равна 60° , 45° и 30° . При этом использовались корни березы повислой, тополя пирамидального, сосны обыкновенной и дуба че-

решчатого диаметром от 5 до 25 мм. Программа экспериментов предусматривала оценку величины усилия резания с получением аналитических зависимостей усилий перерезания корней саженцев различных пород от их диаметров, а также качества среза корня.

Было установлено, что рабочий орган выкопчной машины целесообразно оснащать ножом с углом при вершине 105° и углом заточки 30° (рис. 1), т.к. при его использовании наблюдается наименьшее усилие перерезания и срез корня без повреждений [7].

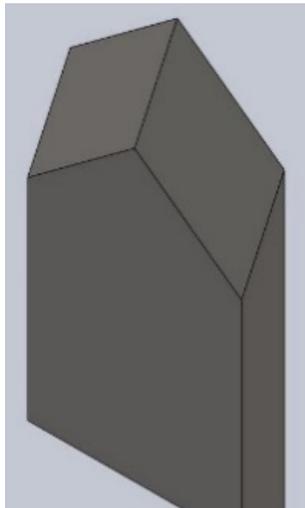


Рис. 1. Нож с углом при вершине 105° и углом заточки 30° (собственные разработки авторов)

Постановка задачи исследования

Выкопка растений-крупномеров – важный, но в то же время специфический процесс в общем цикле их использования, при осуществлении которого должно обеспечиваться высокое качество заготавливаемого саженца в виде сохранности почвенной глыбки и надземной части растения, а также среза корней без смятия и разрывов [6]. Однако при проведении полевых испытаний в целом эффективной конструкции выкопчного оборудования в случае контакта корневой системы растения с центральной частью рабочего органа в виде двух треугольников часто наблюдалось повреждение корней в виде их смятия и размочаливания, снижающее эффективность его приживаемости на новом месте произрастания.

С целью устранения выявленного недостатка предлагается усовершенствованная конструкция

машины для выкопки саженцев с комом почвы, включающая раму с консольными несущими брусьями 1, навесное устройство 2 и вертикальные стойки 3.

Подкапывающий рабочий орган в виде ковша с выемкой в днище закрепляется на стойках. При выкопке растения он поворачивается по окружности гидроцилиндром 4 в шарнирах крепления 5 (рис. 2).

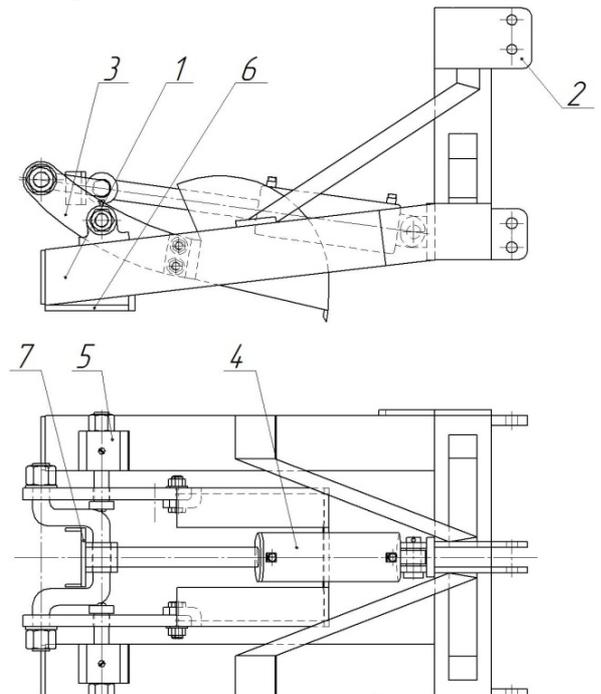


Рис. 2. Конструкция машины для выкопки посадочного материала с комом почвы: 1 – рама с несущими брусьями; 2 – механизм навески; 3 – вертикальные стойки; 4 – гидроцилиндр; 5 – шарниры крепления вертикальных стоек; 6 – опоры; 7 – ограничитель (собственные разработки авторов)

На концах несущих брусьев с нижней стороны закреплены опоры 6. Машина имеет ограничитель 7, размещенный на окончании штока рабочего гидроцилиндра.

Лезвие 1 рабочего органа, состоящего из двух боковых стенок 2, основания 3 и двух полос 4, образующего днище ковша (рис. 3), имеет плавную дугообразную форму для обеспечения скользящего резания при отсутствии элементов, повреждающих корни при их перерезании.

Для оценки эффективности использования в конструкции рабочего органа выкопчного оборудования лезвия дугообразной формы путем сравнения величины прикладываемого усилия при перерезании корней выкапываемых саженцев с данными, полученными ранее при выполнении силового резания корней дуба, сосны, березы и тополя, была разработана программа лабораторных исследований, предусматривающая использование горизонтального, дугообразного и косоугольного ножей.

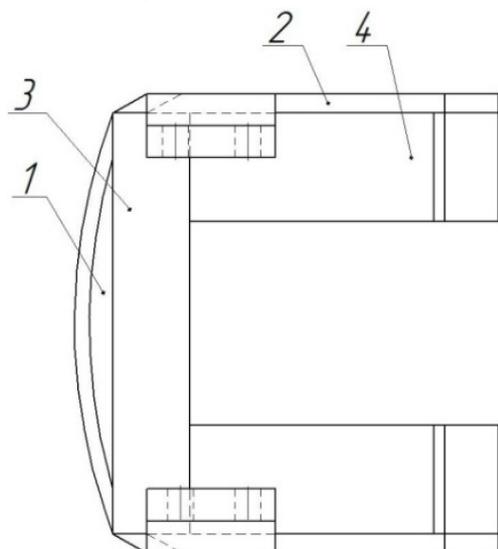


Рис. 3. Рабочий орган выкопчной машины:
1 – лезвие; 2 – боковые стенки; 3 – основание;
4 – опорные полосы (собственные разработки авторов)

Материалы и методы исследования

Взаимодействие исполнительного механизма выкопчного оборудования с рабочей средой при заготовке крупномерного посадочного материала имеет ряд отличий по сравнению с технологическими процессами сельскохозяйственных почвообрабатывающих орудий вследствие контакта выкапывающего рабочего органа со структурно неоднородной средой в виде почвы с наличием в ней корней растений [8]. Происходящее при этом резание корней – крайне сложный процесс, которому предшествует предварительное сжатие древесины корней верхней фаской лезвия рабочего органа до возникновения на его режущей кромке разрушающего контактного напряжения, по величине которого оценивается способность материала сопротивляться разрушению [9, 10].

Разделение волокон древесины непосредственно при резании осуществляется за счет давления кромки лезвия, так как максимальная реакция при этом воздействует на кромку и значительно меньше – на фаски. Разрушение материала под кромкой лезвия происходит в зоне её непосредственного контакта с перерезаемым корнем.

Форма лезвия режущего элемента рабочего органа, фаски и угол заточки оказывают большое влияние на энергоёмкость процесса резания. Фаски определяют влияние угла заточки лезвия на процесс резания, который зависит от реологических свойств обрабатываемого объекта.

Корневая древесина является вязкоупругим (вязкопластичным) материалом, физико-механические свойства которого определяются модулем упругости, коэффициентом Пуассона и коэффициентом внутреннего трения [10, 11].

При резании материала с сильно выраженными упругими свойствами наличие фасок позволяет снизить усилие резания до 20 %. Имеющиеся волокна растягиваются фасками, усиливая противорежущий подпор лезвию, что облегчает резание. В то же время для материала с сильно выраженными вязкостными свойствами роль фасок в рабочем процессе снижается, в то время как давление на кромке лезвия составляет до 80 % общего усилия резания.

В рамках предыдущей серии исследований наибольшее значение усилия резания корней наблюдалось при использовании режущих элементов с углом заточки 60° , поэтому при составлении программы экспериментов было решено оценить энергоёмкость и качество среза ножей с заточкой лезвия в 45° и 30° .

Для испытания древесины на перерезание ножами с различными геометрическими параметрами использовалась универсальная испытательная машина УМ-5А, оснащенная приводным электродвигателем (рис. 4). В процессе проведения экспериментов при помощи коробки скоростей устанавливалась скорость 60 мм/мин.

Испытания проводились с использованием оснастки, которая является аналогом специального приспособления согласно ГОСТ 16483.13-72, но

модернизированным для закрепления образцов круглого сечения.

Для определения необходимого усилия перерезания были заготовлены образцы корней следующих древесных пород: дуб черешчатый, сосна обыкновенная и липа крупнолистная диаметров 5; 8; 10; 12; 15; 18 и 25 мм. Влажность образцов составила 60 %, 46 % и 50 % для корней дуба, сосны и липы соответственно.



Рис. 4. Испытание корней саженцев на перерезание на стенде УМ-5А (собственное фото авторов)

Результаты и обсуждение

По результатам замеров усилий перерезания корневой древесины ножами с различной геометрической конфигурацией получены зависимости усилия резания корней исследуемых пород от их диаметра, которые представлены на рис. 5...10.

Анализ результатов проведенной серии экспериментов показал, что наибольшие усилия перерезания наблюдались при использовании горизонтального ножа с углом заточки 45° (рис. 5). Резание наиболее плотной древесины корней дуба черешчатого сопровождалось приложением к ножу максимального усилия (7090,4 Н при перерезании корня диаметром 25 мм).

В то же время величина усилия при резании корней липы крупнолистной и сосны обыкновенной примерно одинакова на всем диапазоне используемых диаметров (2704 Н для липы и 2757,6 – для сосны при перерезании корня диаметром 25 мм), что согласуется с практически равной величиной плотности данных древесных пород (липа – 495 кг/м^3 , сосна – 500 кг/м^3) и незначительными различиями во влажности заготовленных корней.

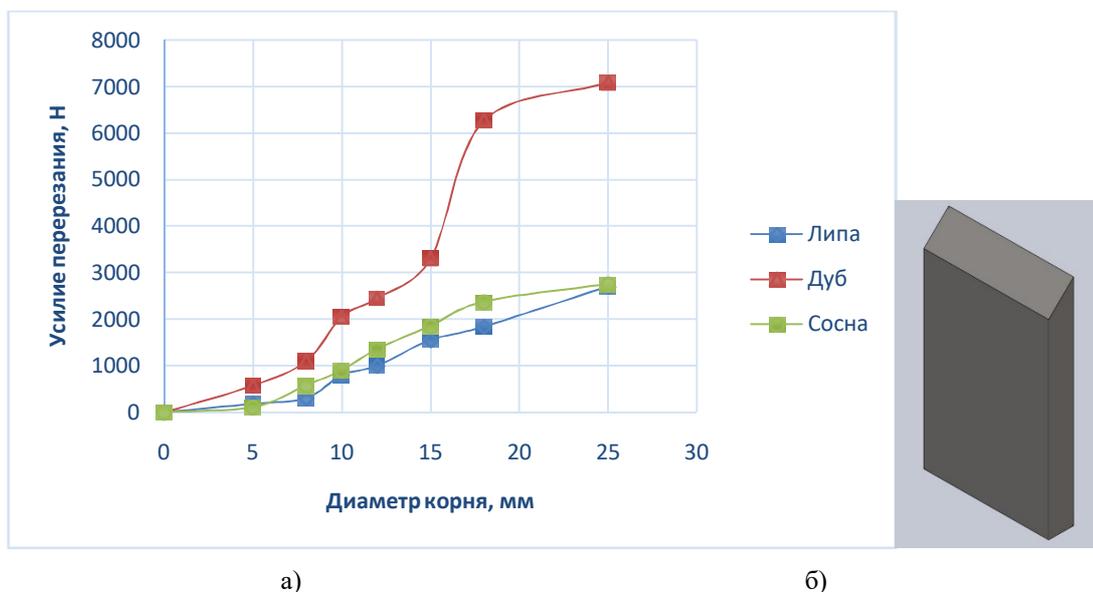


Рис. 5. Зависимость усилия резания корней саженцев различных пород от диаметра (а) при резании горизонтальным ножом с углом заточки 45° (б) (собственные результаты авторов)

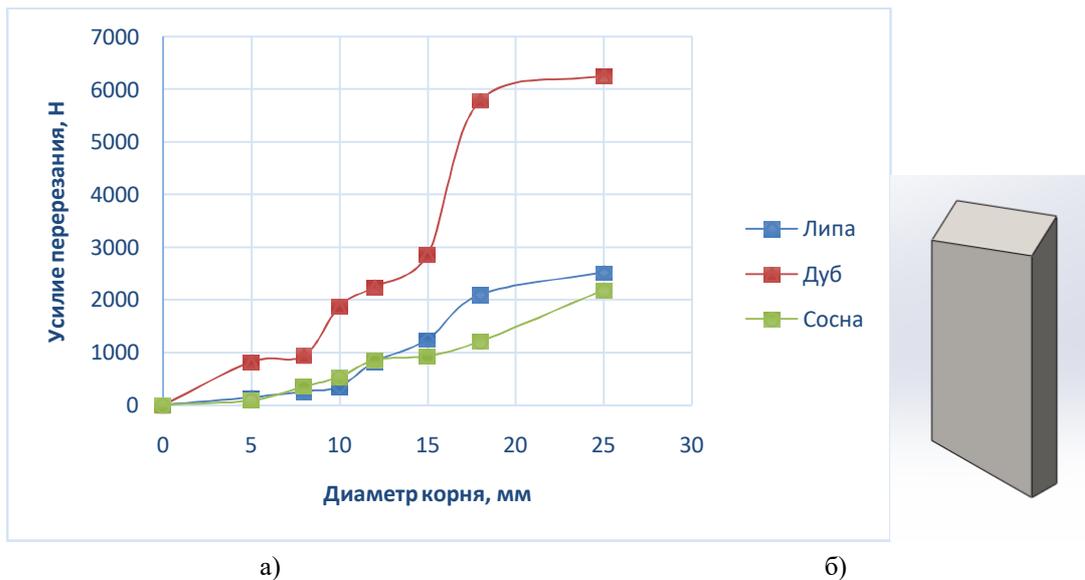


Рис. 6. Зависимость усилия резания корней саженцев различных пород от диаметра (а) при резании косым ножом с углом заточки 45° (б) (собственные результаты авторов)

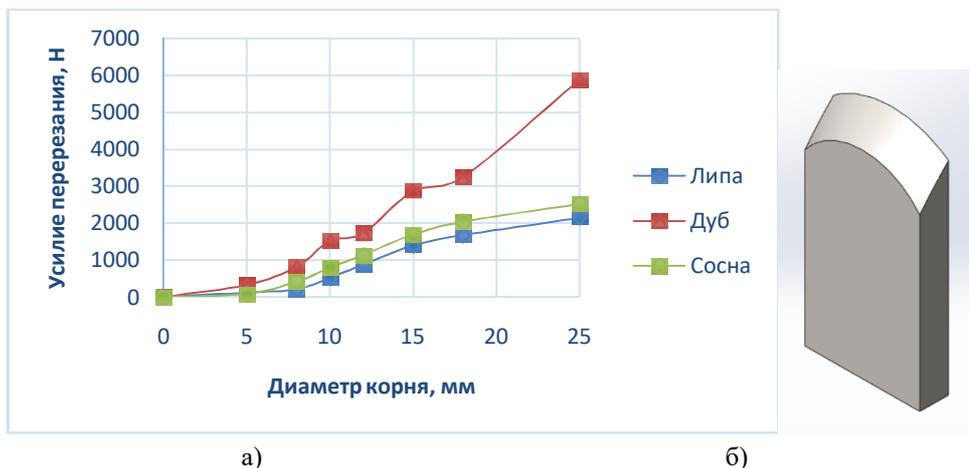


Рис. 7. Зависимость усилия резания корней саженцев различных пород от диаметра (а) при резании дугообразным ножом с углом заточки 45°(б) (собственные результаты авторов)

Использование косого ножа с углом заточки 45° охарактеризовалось следующим (рис. 6): наибольшие значения усилия, как и для горизонтального ножа, наблюдались при перерезании корней дуба, однако оно было меньше (6266,9 Н против 7090,4 Н при перерезании корня диаметром 25 мм). Снижение усилия резания также было отмечено и для остальных используемых в экспериментах древесных пород с минимальным разбросом значений по сходным диаметрам.

Наименьшее усилие среди всех ножей с углом заточки режущей кромки 45° было отмечено при использовании дугообразного ножа (рис. 7).

При перерезании корней дуба черешчатого диаметром 25 мм величина усилия была следующей: дугообразный нож – 5888,8 Н, косой нож – 6266,923, горизонтальный нож – 7090,4 Н. Усилие перерезания корней липы крупнолистной и сосны обыкновенной также было минимальным с незначительным разбросом значений по соответствующим диаметрам (для сравнения приведены усилия перерезания корней диаметром 25 мм):

- липа: дугообразный нож – 2155,5 Н, косой нож – 2520,4 Н, горизонтальный нож – 2704 Н;

- сосна: дугообразный нож – 2530,8 Н, косой нож – 2184,8 Н, горизонтальный нож – 2757,2 Н.

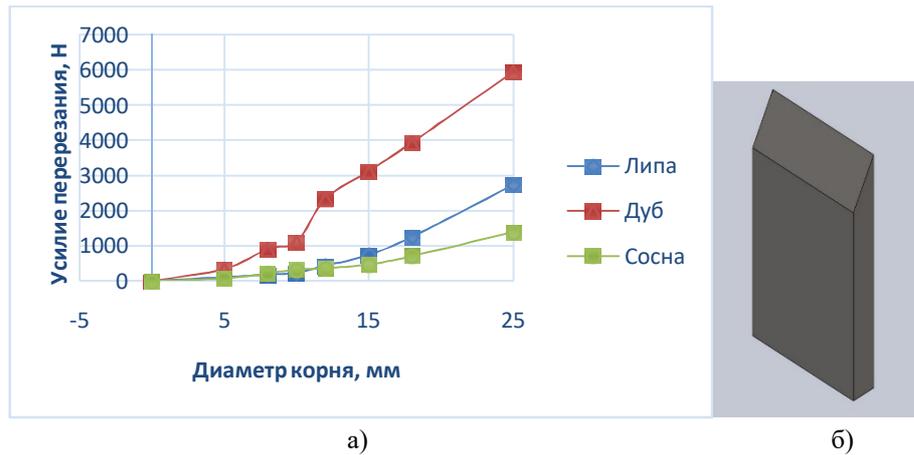


Рис. 8. Зависимость усилия резания корней саженцев различных пород от диаметра (а) при резании горизонтальным ножом с углом заточки 30° (б) (собственные результаты авторов)

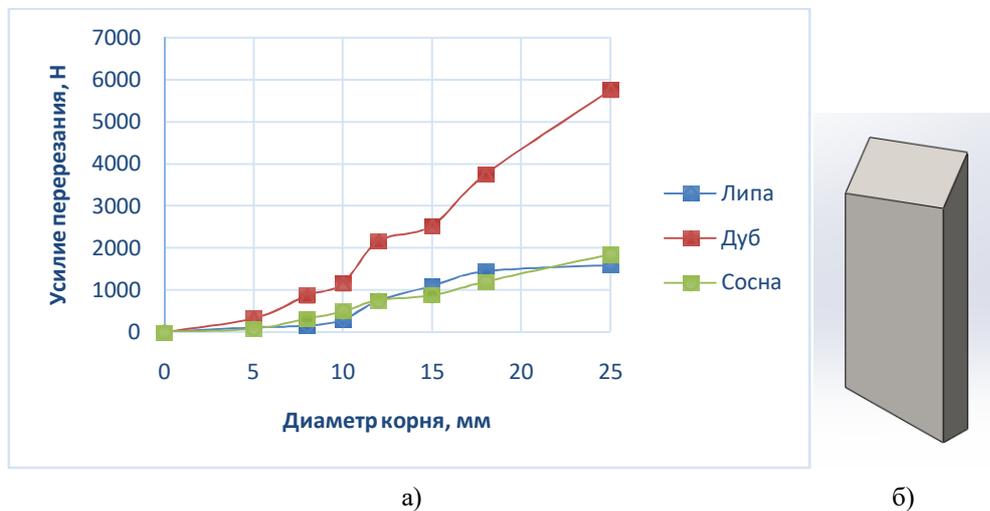


Рис. 9. Зависимость усилия резания корней саженцев различных пород от диаметра (а) при резании косым ножом с углом заточки 30° (б) (собственные результаты авторов)

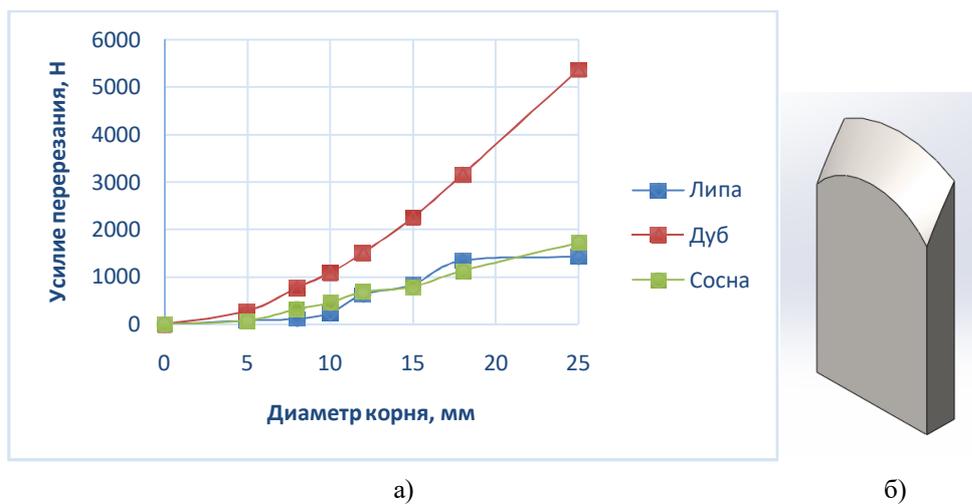


Рис. 10. Зависимость усилия резания корней саженцев различных пород от диаметра (а) при резании дугообразным ножом с углом заточки 30° (б) (собственные результаты авторов)

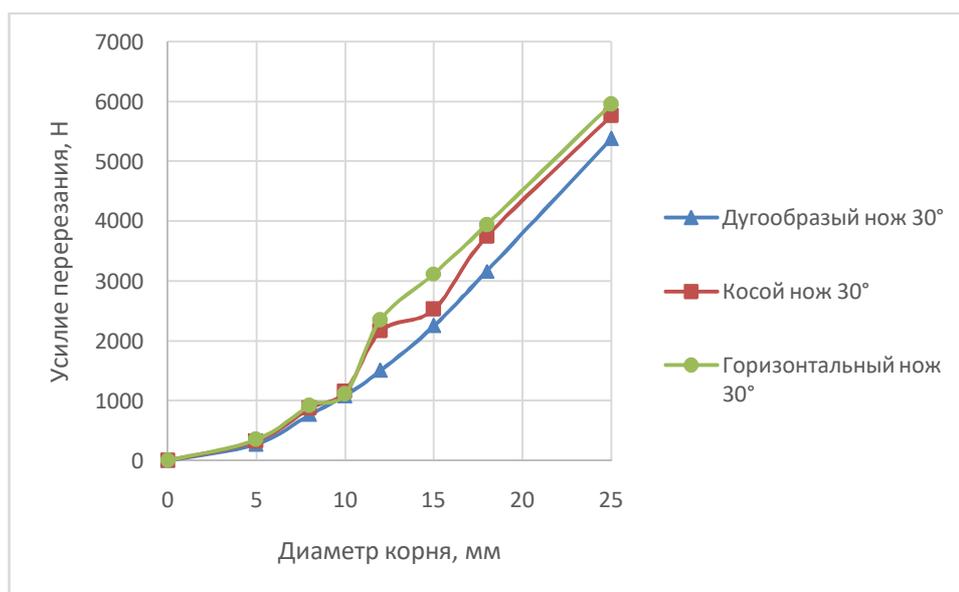


Рис. 11. Зависимость усилия резания корней саженцев дуба черешчатого от диаметра при резании ножами с углом заточки 30° (собственные результаты авторов)

Аналогичная зависимость установлена и при перерезании остальных используемых в эксперименте пород.

Общий вид зависимости усилия резания корней саженцев различных пород косым ножом с углом заточки 30° представлен на рис. 9. Выявленные ранее закономерности проявились и в рамках данной серии экспериментов.

Эксперименты по перерезанию корневой древесины показали, что минимальное прикладываемое усилие при перерезании корней используемых древесных пород наблюдается при применении дугообразного ножа, имеющего угол заточки 30° (рис. 10).

Выводы

Несмотря на то что плотность корневой древесины меньше плотности древесины ствола дерева [11], для оценки эффекта снижения усилия резания корней ножами с углом заточки лезвия 30° целесообразно рассмотреть результаты перерезания корней дуба черешчатого с наиболее плотной древесиной среди рассматриваемых пород (рис. 11). Анализ опытных данных показал, что усилие перерезания корней различного диаметра при применении дугообразного ножа снижается на 9...20 % в сравнении с использованием горизонтального ножа и на 7...15 % в сравнении с использованием косого ножа. Аналогичная закономерность проявляется и

при перерезании различными ножами корней липы крупнолистной и сосны обыкновенной.

Немаловажным моментом в рамках программы исследований являлась оценка качества перерезания корня при проведении экспериментов. Критериями качественного среза являлось отсутствие смятия и разрывов волокон древесины. Наряду с высокой энергоемкостью процесса перерезания, ножи с углом заточки 45° выполняли срез со значительным повреждением корня (рис. 12).



Рис. 12. Срез корня при использовании дугообразного ножа (а) и косого ножа (б) с углом заточки 30° (собственное фото авторов)

Установлено, что использование ножей с углом заточки 30° обеспечивает более качественный срез вследствие меньшего наклона режущей кромки по отношению к перерезаемому корню, что способствует уменьшению смятия волокон древесины

в процессе движения режущего элемента (рис. 12). Дугообразный нож перерезал корень с минимальным растрескиванием поверхности среза.

В процессе обработки результатов экспериментов с помощью полиномиальной регрессии выполнена аппроксимация экспериментальных данных и установлена функциональная зависимость усилия перерезания древесных корней дугообразным ножом с углом заточки 30° от их диаметра (рис. 13) с получением уравнений в виде полинома второй степени для различных пород саженцев:

$$\text{для дуба: } y = 6,7179d^2 + 52,083d - 66,396 ,$$

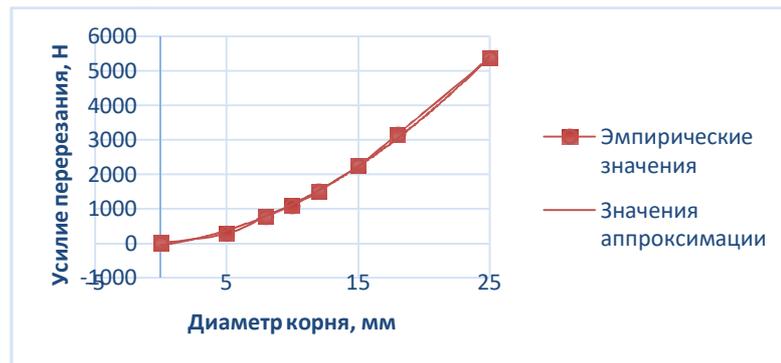
$$R^2 = 0,9985; \quad (1)$$

$$\text{для липы: } y = 0,7929d^2 + 49,089d - 137,6$$

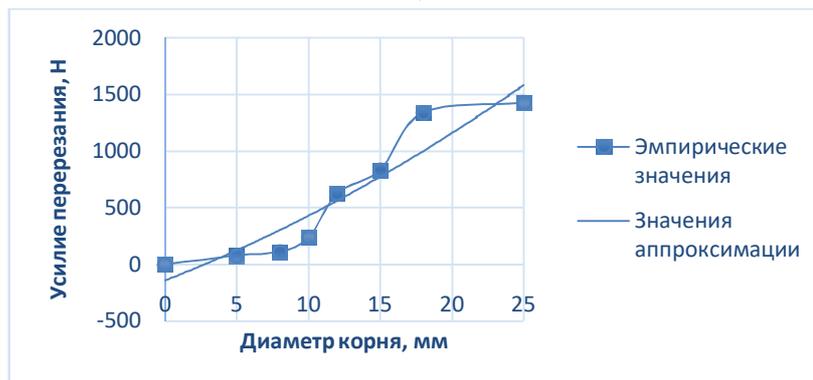
$$R^2 = 0,8945; \quad (2)$$

$$\text{для сосны: } y = 1,3268d^2 + 38,999d - 53,943$$

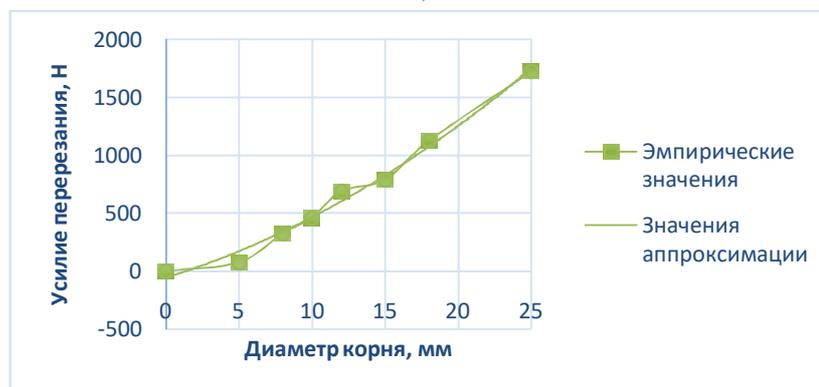
$$R^2 = 0,989 . \quad (3)$$



а)



б)



в)

Рис. 13. Зависимость усилия перерезания корней дугообразным ножом с углом заточки 30° от их диаметра:
а – дуб; *б* – липа; *в* – сосна (собственные результаты авторов)

Таким образом, результаты выполненных исследований показывают целесообразность оснащения рабочих органов выкопчного оборудования режущими элементами дугообразной формы. Использование дугообразного лезвия обеспечивает силовое резание корневой древесины со скольжением со сниженной энергоемкостью и минимальными повреждениями корня в месте среза.

При этом при работе выкопчных машин подкапывающий механизм осуществляет взаимодействие со структурно-сложной рабочей средой, где на параметры процесса выкопки оказывают совместное влияние как корневые включения, так и почва.

Поэтому последующее развитие исследований процесса резания почвенно-растительной среды режущими элементами подразумевает изучение резания корней в среде, имитирующей почву. Это дает возможность повысить сходство с реальными рабочими условиями выкопчного оборудования, когда при перерезании лезвием корень не закреплен жестко, а происходит его смещение в почве, влияющее на характер резания.

Получаемые данные о силовых характеристиках протекания процесса перерезания древесины корнями применимы при математическом моделировании процессов взаимодействия рабочих органов машин с почвой, насыщенной корнями растений.

Библиографический список

1. Дручинин, Д. Ю. Механизация перспективного способа выкопки крупномерных саженцев с комом почвы / Д. Ю. Дручинин // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 6 (57). – С. 132–134.
2. Лунева, З. С. Выращивание саженцев декоративных деревьев и кустарников : учеб. пособие / З. С. Лунева, Е. А. Судакова, В. А. Попов. – Москва : Стройиздат, 1965. – 171 с.
3. Pryor, M. Mature tree transplanting: Science supports best management practice / M. Pryor, G. Watson // *Arboricultural Journal*. – 2016. – 38 (1). – P. 2–27. – DOI:10.1080/03071375.2016.1157401
4. Technological approach to environmental greening of large cities / N. A. Smirnov, R. A. Smirnov, L. A. Vasilieva, M. V. Shuvarin // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – № 22003. – DOI: 10.1088/1755-1315/315/2/022003.
5. Дручинин, Д. Ю. Использование крупномерного посадочного материала при создании и реконструкции защитных лесных насаждений / Д. Ю. Дручинин, М. В. Драпалюк // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2018. – № 223. – С. 174–186. – DOI: 10.21266/2079-4304.2018.223.174-186.
6. Lin, H. Factors and examination of affecting the landscaping trees transplanted into a living / H. Lin, Y. Wang, Y. Yang // *Revista de la Facultad de Agronomia*. – 2019. – Vol. 36, Issue 6. – P. 2028–2036.
7. Дручинин, Д. Ю. Лабораторные исследования процесса силового резания древесины корней саженцев ножом выкопчной машины / Д. Ю. Дручинин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 79. – С. 230–242.
8. Завражнов, А. А. Теоретическое определение усилия разрушения корней в почве рабочим органом корчевателя / А. А. Завражнов, В. Ю. Ланцев, Д. А. Егоров // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 4. – С. 49–51.
9. Кобяков, И. Д. Исследования процесса резания почвы / И. Д. Кобяков // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – № 9. – С. 30–32.
10. Резник, Н. Е. Теория резания лезвием и основы расчёта режущих аппаратов : монография / Н. Е. Резник. – Москва : Машиностроение, 1975. – 311 с.
11. Драпалюк, М. В. Совершенствование технологических операций и рабочих органов машин для выращивания посадочного материала и лесовосстановления : специальность 05.21.01 «Технология и машины

лесозаготовок и лесного хозяйства» : дис. ... д-ра техн. наук : защищена 30.03.2007 / Драпалюк Михаил Валентинович. – Воронеж, 2006. – 415 с. – Библиогр.: с. 337–356.

12. Гриб, В. М. Особенности строения корневых систем сосны обыкновенной и их влияние на качество лесовосстановления / В. М. Гриб // Лесной журнал. – 2015. – № 2 (344). – С. 37–49.

References

1. Druchinin D. Yu. (2011) Mekhanizatsiya perspektivnogo sposoba vykopki krupnomernykh sazhentsev s komom. *Vestnik KrasGAU*, no. 6 (57), pp. 132-134 (in Russian).
2. Luneva Z. S., Sudakova Ye. A., Popov V. A. *Vyrashchivaniye sazhentsev dekorativnykh derev'yev i kustarnikov* [Cultivation of seedlings of ornamental trees and shrubs]. Moscow: Stroyizdat, 1965, 171 p (in Russian).
3. Pryor M., Watson G. (2016) Mature tree transplanting: Science supports best management practice. *Arboricultural Journal*, no. 38(1), pp. 2-27. DOI:10.1080/03071375.2016.1157401.
4. Smirnov N. A., Smirnov R. A., Vasilieva L. A., Shuvarin M. V. (2019) Technological approach to environmental greening of large cities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, no. 22003. DOI: 10.1088/1755-1315/315/2/022003.
5. Druchinin D. Yu, Drapalyuk M. V. (2018) *Ispol'zovaniye krupnomernogo posadochnogo materiala pri sozdanii i re-konstruktsii zashchitnykh lesnykh nasazhdeniy* [Large planting material employment in the creation and reconstruction of protective forest plantations]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, no. 223. pp. 174-186 (in Russian).
6. Lin H., Wang Y., Yang Y. (2019) Factors and examination of affecting the landscaping trees transplanted into a living. *Revista de la Facultad de Agronomia*, vol. 36, no 6, pp. 2028-2036.
7. Druchinin D. Yu. (2012) *Laboratornyye issledovaniya protsessa silovogo rezaniya drevesiny korney sazhentsev nozhom vykopchnoy mashiny* [Laboratory researches of power cutting process of plantlets roots wood by plant lifter knife]. *Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, no. 79, pp. 230-242 (in Russian).
8. Zavrzhnov A. A., Lantsev V. Yu., Egorov D. A. (2013) *Teoreticheskoye opredeleniye usiliya razrusheniya korney v pochve rabochim or-ganom korchevatel'ya* [Theoretical definition of effort of destruction of roots in soil by working body of the stump puller]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, no. 4, pp. 49-51 (in Russian).
9. Kobayakov I. D. (2007) *Issledovaniya protsessa rezaniya pochvy* [Research of the soil cutting process]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, no. 9, pp. 30-32 (in Russian).
10. Reznik N. Ye. *Teoriya rezaniya lezviyem i osnovy raschota rezhushchikh apparatov* [Theory of cutting with a blade and the basics of calculating cutting devices]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1975, 311 p. (in Russian).
11. Drapalyuk M. V. *Sovershenstvovaniye tekhnologicheskikh operatsiy i rabochikh organov mashin dlya vyrashchivaniya posadochnogo materiala i lesovosstanovleniya* [Improvement of technological operations and working bodies of machines for growing planting material and reforestation]: *dis. ... d-ra tekhn. nauk* [DSc thesis]. Voronezh, 2006, 415 p. (in Russian).
12. Grib V. M. (2015) *Osobennosti stroyeniya kornevykh sistem sosny obyknovennoy i ikh vliyaniye na kachestvo lesovosstanovleniya* [Features of the structure of the root systems of Scots pine and their impact on the quality of reforestation]. *Lesnoy zhurnal*, no. 2 (344), pp. 37-49 (in Russian).

Сведения об авторах

Дручинин Денис Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: druchinin.denis@rambler.ru.

Гнусов Максим Александрович – кандидат технических наук, научный сотрудник научно-исследовательского отдела (НИО) ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: mgnusov@yandex.ru.

Бородин Николай Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: borodinnikol2014@mail.ru.

Миляев Андрей Сергеевич – магистр ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: andriy.sergeevich@mail.ru.

Воскобойник Михаил Юрьевич – магистрант кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: tablock9@gmail.com.

Information about authors

Druchinin Denis Yurievich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head 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: druchinin.denis@rambler.ru.

Gnusov Maksim Aleksandrovich – PhD (Engineering), researcher, Research Department (NIO), FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: mgnusov@yandex.ru.

Borodin Nikolay Aleksandrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate 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: borodinnikol2014@mail.ru.

Milyaev Andrey Sergeevich – Master of Science, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: andriy.sergeevich@mail.ru.

Voskoboinik Mikhail Yurievich – Master's degree 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: tablock9@gmail.com.