

4.3.1. ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 630.332

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2026_1_124

EDN: CJLTCX

Современные технологии и технические средства сгребания и сбора порубочных остатков при восстановлении полезащитных лесополос

Алексей Александрович Платонов^{1✉}, Максим Александрович Гнусов²

^{1, 2} Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
Воронеж, Россия

¹ paa5@rambler.ru✉

Аннотация. Полезащитные лесные насаждения (лесополосы), представляющие собой искусственно сформированные участки леса большой протяженности и сравнительно небольшой ширины, охраняют пахотные земли и сельскохозяйственные растения от ряда неблагоприятных климатических факторов, способствуя получению дополнительной сельскохозяйственной продукции. Учитывая, что возраст большинства полезащитных лесных полос в России в настоящее время достигает 55–70 лет, для сохранения их положительного влияния на агроландшафты необходимо проводить своевременные мероприятия по восстановлению и уходу за ними. Агротехнические мероприятия в защитных лесополосах заключаются в целенаправленном воздействии на сорную нежелательную древесно-кустарниковую растительность, в том числе на ее порубочные остатки. Цель исследования – поиск путей повышения эффективности работы технических средств сгребания и сбора порубочных остатков при восстановлении полезащитных лесополос. Выполнен анализ наиболее распространенных применяемых технологических процессов по воздействию на нежелательную растительность в зонах полезащитных лесополос, показаны их недостатки. Для повышения эффективности и качества выполнения работ в полезащитных лесополосах предложена технология воздействия на нежелательную растительность, предусматривающая сгребание порубочных остатков граблями. Показано, что коэффициент непроницаемости граблей определяется как отношение количества экземпляров порубочных остатков, сгребленных (собранных) с определенной площади (m^2), к количеству всех экземпляров порубочных остатков, находившихся на указанной площади до начала их сгребания (сбора), с учетом плотности (шт./ m^2) скапливания порубочных остатков. Определено, что при наиболее вероятном интервале между двумя соседними зубьями отечественных граблей около 500 мм коэффициент их непроницаемости (при длине порубочных остатков 650–1250 мм) варьирует в диапазоне 82–91%. Предложена усовершенствованная формула для определения производительности ($m^3/ч$) работы граблей по сбору порубочных остатков.

Ключевые слова: полезащитные лесные полосы, эффективность, восстановление, уход, нежелательная древесно-кустарниковая растительность (НДКР), порубочные остатки, грабли, сгребание, непроницаемость

Финансирование: статья подготовлена по результатам исследования, поддержанного Российским научным фондом, номер проекта 25-19-00876, <https://rscf.ru/project/25-19-00876>.

Для цитирования: Платонов А.А., Гнусов М.А. Современные технологии и технические средства сгребания и сбора порубочных остатков при восстановлении полезащитных лесополос // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2026. Т. 19, № 1(88). С. 124–133. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2026_1_124-133.

4.3.1. TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT FOR AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

Modern technologies and technical means for raking and collecting logging residues during field-protective forest belts restoration

Aleksey A. Platonov^{1✉}, Maksim A. Gnusov²

^{1, 2} Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

¹ paa5@rambler.ru✉

Abstract. Field-protective forest plantings (forest belts), which are artificially formed forest areas of great length and relatively small width, protect arable land and agricultural plants from a number of unfavorable climatic

factors, contributing to the production of additional agricultural products. Considering that the age of the most forest belts currently reaches 55-70 years, timely restoration and care measures must be carried out to preserve their positive impact on agricultural landscapes. Agrotechnical measures in field-protective forest belts consist in a targeted effect on weedy undesirable tree and shrubby vegetation, including its logging residues. The purpose of the study was to increase the efficiency of technical means for raking and collecting logging residues during the restoration of protective forest belts. The analysis of the most common applied technological processes for the impacts on undesirable vegetation in protective forest belts is performed, their disadvantages are shown. To improve the efficiency and quality of work in forest belts, a technology for influencing undesirable vegetation has been proposed, which involves raking logging residues. It is shown that the rake impenetrability coefficient is defined as the ratio of the number of specimens of logging residues raked (collected) from a certain area to the number of all specimens of logging residues located on the specified area before their raking (collection), taking into account the density (pcs/m²) of accumulation of logging residues. It was determined that with the most probable interval between two adjacent teeth of the specified rakes of about 500 mm, their impenetrability coefficient (with a length of 650-1250 mm cutting remains) varies in the range of 82-91%. An improved formula has been proposed for determining the productivity (m³/h) of rakes for collecting logging residues.

Keywords: field-protective forest belts, efficiency, restoration, tending of plantations, undesirable tree and shrubby vegetation, logging residues, rakes, raking, impenetrability

Funding: the paper was prepared based on the results of research supported by the Russian Science Foundation, Project No. 25-19-00876, <https://rscf.ru/project/25-19-00876>.

For citation: Platonov A.A., Gnusov M.A. Modern technologies and technical means for raking and collecting logging residues during field-protective forest belts restoration. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2026;19(1):124-133. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2026_1_124-133.

Введение
Полеззащитные лесные насаждения (лесополосы) представляют собой искусственно сформированные участки леса большой протяженности и сравнительно небольшой ширины, создаваемые в различных географических зонах (преимущественно на равнинных территориях и плоских водоразделах, а также на орошаемых и неорошаемых землях) для защиты пахотных земель и сельскохозяйственных растений от неблагоприятных климатических факторов (в частности, засух, суховеев, пыльных бурь).

Лесные полосы играют ключевую роль в многоаспектном воздействии на агроландшафты, способствуя стабилизации агроэкологической среды и формированию новых, устойчивых агролесомелиоративных систем. В этом контексте полеззащитное лесоразведение следует рассматривать как неотъемлемую составляющую государственной стратегии Российской Федерации, предусматривающей противодействие эрозии почв и другим деградационным процессам (включая опустынивание земель), реализация положений которой имеет прямое отношение к обеспечению как экологической, так и продовольственной безопасности страны. В настоящее время эксперты межрегиональной экологической организации «Эка» выступили с инициативой признать климатическими проектами создание новых и восстановление уже существующих защитных лесных полос, высказывая мнение, что это поможет адаптировать посевы к изменению климата, проявляющемуся в виде перепадов температур, усиления ветровой нагрузки и др.

Основной период создания полеззащитных лесных полос в России пришелся на 40-е гг. прошлого столетия, в то время они были призваны защитить посевы сельскохозяйственных культур от засухи, а людей – от голода. Также высаживались лесополосы местного значения по периметру отдельных полей, по склонам оврагов, вдоль уже существующих и вновь создаваемых водоемов. Лесополосы преобразили общий вид сельскохозяйственной территории страны. По данным государственного лесного реестра, в России по состоянию на начало 2025 г. насчитывалось порядка 288 млн га защитных лесов. Сведения о распределении площадей под государственными защитными лесными полосами России (Сгзлн), а также полеззащитными лесными полосами (Слзп) некоторых областей центральной части страны приведены на рис. 1, а, б [5, 12].

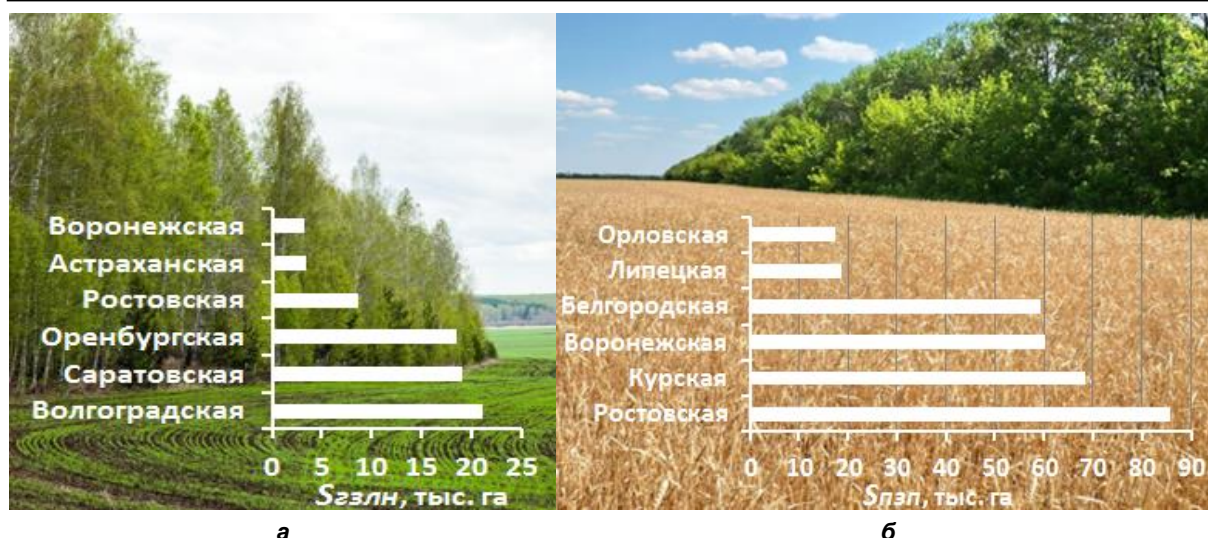


Рис. 1. Распределение площадей под защитными лесными полосами выборочно по областям России:
а – под государственными защитными лесными полосами;
б – под полезащитными лесными полосами

Современное состояние защитных лесонасаждений нельзя назвать удовлетворительным, они нередко загрязнены бытовыми и промышленными отходами, повреждены пожарами, самовольными вырубками, болезнями и вредителями. В них прогрессируют процессы задернения почвы, изреживания верхнего яруса и внутренних рядов древостоев. Возраст большинства лесных полос достигает 55–70 лет, при этом лесные полосы агролесомелиоративного назначения, как правило, состоят из 3–4 рядов деревьев с расстоянием между рядами 2,5–4 м, в ряду между растениями – 1–3 м. Продольные лесные полосы обычно располагают поперек направления наиболее вредоносных ветров на эрозионно опасных участках, поперечные – перпендикулярно продольным лесным полосам.

Создание и поддержание в нормативном порядке полезащитных лесных полос позволяют обеспечить увеличение средней урожайности зерновых культур на 18–23%, технических – на 20–26, кормовых – на 29–41% [4]. При правильном размещении лесных полос и защитной лесистости полей севооборотов (1,5–3,0%) смыв и выдув почвы снижаются до допустимых пределов, а при 4–8% водная и ветровая эрозия, формирование пыльных бурь полностью блокируются [4, 10]. В зоне защитного действия лесополос значительно уменьшаются потери органоминеральных частиц почвы в результате снижения разрушительного действия ветра и воды [11].

По сведениям целого ряда ученых, например [9, 13], для сохранения положительного влияния лесных полос на защищенность агроландшафтов необходимо проводить своевременные мероприятия по уходу за ними. Многие лесополосы нуждаются в лесохозяйственном уходе и улучшении санитарного состояния в связи со старением древостоя и рядом неблагоприятных факторов их произрастания, практически половина требует капитальной реконструкции (рис. 2, а, б).

Агротехнические мероприятия, проводимые в защитных лесополосах (уходные работы и санитарные рубки), призванные оптимизировать условия для роста и развития сельскохозяйственных культур, включают в себя целенаправленное воздействие на сорную нежелательную древесно-кустарниковую растительность (НДКР), размножающуюся корневыми отпрысками, пневой порослью и семенами [8]. Воздействие на указанную растительность как ручными, так и механизированными средствами (кусто-резами) приводит к формированию большого количества так называемых порубочных остатков (ПО).



а



б

Рис. 2. Полезащитные лесные полосы: а – наличие сухостойных деревьев; б – заросшая полезащитная лесополоса

Порубочные остатки представляют собой отходы хозяйственной деятельности, включая ветки, кору, сучья, мелкие и крупные обломки деревьев, а также их обрезки, которые остаются на месте после срезания или корчевания растительности, захламляя прилегающие к полезащитным полосам сельскохозяйственные угодья. Кроме того, к порубочным остаткам могут относиться и целенаправленно удаляемые деревья и кустарники с корневыми системами, в том числе небольших размеров.

Применение технических средств для сбора и сгребания порубочных остатков (граблей), агрегируемых с трактором или многофункциональной машиной при уходе за полезащитными лесополосами, представляет собой важный и актуальный аспект современного агролесомелиоративного комплекса. Указанные технические средства обеспечивают качественную уборку древесных порубочных остатков, образующихся после проведения санитарных, прореживающих и формирующих мероприятий в полезащитных лесополосах. Особенно это актуально при больших объемах работ, когда ручной труд становится экономически невыгодным.

Эффективная уборка позволяет поддерживать защитные функции ползащитных лесополос в рабочем состоянии, способствуя сохранению микроклимата в прилегающих сельскохозяйственных угодьях и предотвращая эрозионные процессы. Так как вышеописанные грабли обладают мобильностью и спроектированы для выполнения работ на ограниченных пространствах, они подходят даже для узких и извилистых участков лесополос, где использование другой техники затруднено. Отметим, однако, что актуальные практики многих хозяйствующих субъектов, занимающихся расчисткой ползащитных лесонасаждений, зачастую не предусматривают наличие специализированного оборудования (граблей), что снижает общую эффективность технологического процесса вследствие применения только ручного сбора порубочных остатков.

В ходе проведенного анализа актуальных (отечественных и зарубежных) научных публикаций было выявлено отсутствие исследований, которые бы оценивали как по отдельности, так и в совокупности критерии совершенствования технических средств для сгребания или сбора порубочных остатков (граблей). Научные статьи, посвященные вопросам очистки территорий от нежелательной растительности (в том числе при уходе за ползащитными лесополосами), зачастую характеризуются лишь описанием технико-экономических характеристик отдельных машин и механизмов [3, 15], в том числе применительно к конкретной технологии использования устройств сгребания и сбора срезанной (вырубленной, вырванной или выкорчеванной) нежелательной растительности [2, 16].

В ряде научных исследований проводится анализ корреляционной зависимости между объемом финансовых затрат на утилизацию порубочных остатков методом сгребания и показателями эффективности данной технологической операции [19, 21], в том числе по различным территориям [14, 20], включая ползащитные лесные насаждения. Лишь некоторые исследователи [17, 18] выделяют необходимость определения и дальнейшего учета объема собираемой (сгребаемой) биомассы, при этом выполненный авторами обзор выявил отсутствие исследований, оценивающих такой ключевой момент достижения оптимальной производительности рассматриваемых технических средств, как определение (в том числе моделирование) параметра их непроницаемости сгребаемыми (собираемыми) порубочными остатками, что является, несомненно, важным при проведении восстановительных мероприятий в ползащитных лесополосах.

Цель исследования заключалась в поиске путей повышения эффективности применяемых технических средств сгребания и сбора порубочных остатков при восстановлении и уходе за ползащитными лесополосами.

Методика исследования

В соответствии с утвержденной программой исследования необходимо было:

- выявить недостатки существующих технологий сгребания и сбора срезанной (выкорчеванной, вырванной) нежелательной растительности с территорий ползащитных лесополос;
- воспроизвести геометрическую конфигурацию граблей при их взаимодействии с порубочными остатками;
- учесть физические и механические свойства растительности, а также особенности процесса движения граблей.

Объект исследования представлял собой грабли, характеризуемые определенным количеством Z зубьев ($3 \leq Z \leq 40$).

Предметом исследования являлась модель воздействия граблей на порубочные остатки.

Для достижения поставленной цели использовался метод математического моделирования, а именно кинематический (для учета траектории движения зубьев граблей).

Результаты и их обсуждение

Формирование порубочных остатков при срезании (выкорчевывании, вырывании) нежелательной растительности происходит в результате применения того или иного технологического процесса (ТП) воздействия на НДКР.

В ходе ранее выполненного исследования применяемых технологических процессов (общим количеством более 50 [7]) выявлено, что в настоящее время при удалении нежелательной древесно-кустарниковой растительности по различным территориям технологическая операция сгребания или сбора порубочных остатков выполняется преимущественно ручным способом с привлечением большого количества работников. Низкая производительность и эффективность труда (один человек может собрать всего 1–2 м³/час, в зависимости от условий на месте остается до 20–30% собираемых порубочных остатков), что намного медленнее механизированных методов (например, грабли российского и белорусского производства собирают до 30 м³/час).

Антиподом ручному сбору порубочных остатков является их сбор или сгребание специализированными техническими средствами (граблями), применение которых распространено недостаточно широко. Наиболее типичные технологические процессы предусматривают ручное срезание или вырубание НДКР с дальнейшим сбором вручную порубочных остатков и их сжиганием; ручное срезание НДКР с дальнейшей корчевкой вручную пней, сбором вручную порубочных остатков и их измельчением (дроблением) на щепу; применение мульчирования; ручное срезание или вырубание НДКР с дальнейшим сбором вручную порубочных остатков и их вывозом. Кроме того, в силу незнания современных (в том числе мировых) тенденций развития технологий удаления нежелательной растительности организаторы работ по удалению НДКР иногда применяют старый, неэффективный (в современных условиях) и неэкологичный способ срезания нежелательной растительности бульдозером, снабженным пассивным рабочим органом, в результате чего происходит попутное вдавливание порубочных остатков в почву. Как следствие, рассмотренные технологические процессы не способствуют эффективному удалению порубочных остатков из зоны работ при восстановлении полезащитных лесополос.

Для повышения эффективности и качества выполнения работ по сгребанию и сбору порубочных остатков с целью уменьшения (до 30–50%) и вплоть до полного исключения доли ручного труда разработана технология воздействия на НДКР в полезащитных лесополосах, предусматривающая механизированное срезание нежелательной растительности кусторезами (агрегатированных с тракторами) с дальнейшим механизированным сгребанием порубочных остатков, их переработкой на щепу и вывозом.

Ключевым элементом указанной технологии является применение специализированных технических средств для сгребания и сбора порубочных остатков (граблей), которые могут быть агрегатированы как с традиционными тракторами, так и с различными multifunctional машинами (экскаваторами).

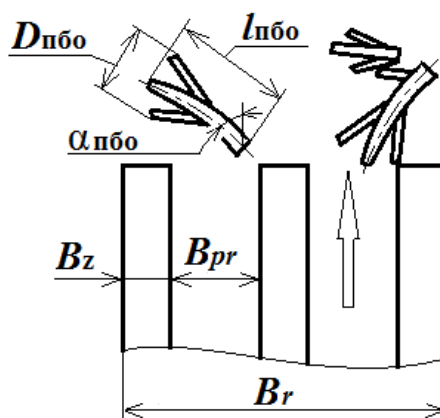


Рис. 3. Схема взаимодействия ветвей и сучьев порубочных остатков с зубьями граблей:
 $D_{пбо}$ – наибольший диаметр, описываемый концами сучьев порубочных остатков, м;
 $l_{пбо}$ – длина порубочных остатков, м; $\alpha_{пбо}$ – текущий угол поворота экземпляра ПО, град.;
 B_z – ширина одного зуба граблей, м; $B_{пр}$ – расстояние между соседними зубьями граблей, м;
 Z – количество зубьев граблей, шт.

Требующие сгребания вдоль полезащитных лесополос порубочные остатки представляют собой преимущественно срезанную разновозрастную древесно-кустарниковую растительность в виде неразделенных стволов (различной длины и диаметра) с сучьями, ветками и листвой [6], а также элементы такой растительности в виде отдельных вершин, сучьев, ветвей, стволов, пней, корневых систем. Размеры (фракционность) порубочных остатков изменяются в достаточно широких пределах. Так, срезаемые с отделением от корневой системы высокорослые деревья и кустарники нередко разделяются на отдельные части длиной 1,5–2 м с оставлением на них ветвей и листьев, а впоследствии сгребаются. Нежелательные мелколесье, подлесок и поросль, также срезаемые отделением от корневой системы, на отдельные части не разделяются, а сгребаются в состоянии «как есть», при этом их длина варьирует преимущественно в диапазоне 0,7–1,5 м. В то же время щепа, представляющая собой древесные элементы с преимущественными размерами фракций от 5 до 70 мм (длина) и до 30 мм (толщина), образуется путем преобразования собранных (сграбленных) порубочных остатков в рубильных (измельчающих) машинах и подлежит вывозу с территории полезащитных лесополос.

С уменьшением размера $l_{пбо}$ порубочных остатков возрастает вероятность их неполного сгребания ввиду увеличивающейся возможности проникновения между двумя соседними зубьями рассматриваемых технических средств.

Эффективность сгребания порубочных остатков будет наибольшей, если каждый экземпляр срезанной (вырубленной и др.) растительности своим наибольшим размером $l_{пбо}$ будет перекрывать расстояние между двумя соседними зубьями $B_{пр}$ граблей, а следовательно, должно обеспечиваться следующее минимальное граничное условие:

$$B_{пр} = (Br - Z \cdot Bz) / (Z - 1) \leq l_{пбо},$$

где Br – ширина граблей, м;

Z – количество зубьев граблей.

При соблюдении указанного условия из отдельных экземпляров порубочных остатков будет формироваться некоторый объем, динамически увеличивающийся в процессе работы трактора (многофункциональной машины).

При несоблюдении указанного условия возможно проникновение экземпляра порубочных остатков между двумя соседними зубьями граблей. Указанное проникновение априори становится еще более вероятным в случае отсутствия у большинства элементов, составляющих основную массу порубочных остатков, узлов разветвления, которыми указанные элементы могут, взаимодействуя с зубьями или друг с другом, образовывать постоянные или временные связи, обеспечивающие их совместное увлечение в направлении движения транспортного средства.

С учетом вышеизложенного оценить эффективность работы технических средств для сгребания и сбора порубочных остатков на этапах их опытно-производственной и промышленной эксплуатации можно, применив коэффициент непроницаемости граблей U_r как отношение количества экземпляров $N_{пбо}$ порубочных остатков, собранных с определенной площади S (м²), к количеству всех экземпляров $\sum N_{пбо}$ порубочных остатков, находившихся на указанной площади до начала сграбливания (сбора), с учетом плотности их скапливания $Q_{пбо}$ (шт./м²):

$$U_r = N_{пбо} / \sum N_{пбо} = N_{пбо} / (Q_{пбо} \cdot S).$$

Результаты имитационного моделирования коэффициента непроницаемости U_r граблей позволили установить (рис. 4), что для выявленных репрезентативных значений параметров граблей российского и белорусского производства (ломаный профиль зубьев, ширина захвата – $Br = 2390$ мм, ширина зубьев – $Bz = 80$ мм, количество зубьев – $Z = 5$ или варьируемое $Z = 4–20$) при наиболее вероятном интервале между двумя соседними зубьями $B_{пр} = 500$ мм коэффициент непроницаемости варьирует в диапазоне

$Ur = 0,82–0,91$. В области малых значений количества зубьев ($Z = 4–5$) непроницаемость граблей весьма различается ($Ur = 68–87\%$) в зависимости от длины $l_{пбо}$ порубочных остатков. С увеличением густоты граблей (при количестве зубьев $Z \geq 14$) непроницаемость граблей с изменением длины порубочных остатков различается незначительно ($Ur = 95–98\%$).

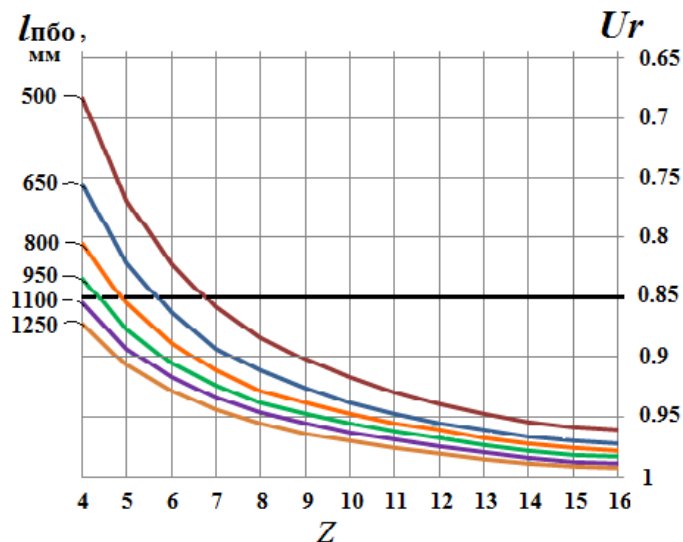


Рис. 4. Зависимости коэффициента непроницаемости Ur граблей от количества зубьев Z граблей и длины $l_{пбо}$ порубочных остатков

Полученные результаты исследования целесообразно использовать при определении производительности Wr ($\text{м}^3/\text{ч}$) работы граблей по формированию ими объемов порубочных остатков, используемых при восстановлении поlezащитных лесополос.

Для расчета предлагается применять формулу А.А. Платонова как усовершенствованную по сравнению с [1] посредством введения в нее величины Ur , а именно:

$$Wr = 3600 \cdot Vr \cdot Ur \cdot kn \cdot kv / tц,$$

где Vr – формируемый граблями объем порубочных остатков, м^3 ;

Ur – коэффициент непроницаемости граблей;

kn – коэффициент краинных потерь порубочных остатков граблями ($kn = 0,9–1$);

kv – коэффициент использования базового транспортного средства по времени ($kv = 0,8–0,9$);

$tц$ – время цикла работы сбора (сгребания) порубочных остатков.

Заключение

Выявлено, что для поддержания в нормативном порядке защищенности пахотных земель и сельскохозяйственных растений от неблагоприятных климатических факторов необходимо проведение санитарных, прореживающих и формирующих мероприятий в поlezащитных лесополосах.

Показано, что использование в поlezащитных лесополосах технологии, предусматривающей применение специализированных технических средств сгребания и сбора порубочных остатков (граблей), способствует уменьшению (до 30–50%, вплоть до полного исключения) доли ручного труда, повышению производительности и качества очистки поlezащитных лесополос от нежелательной растительности.

Установлено, что для оценки эффективности работы граблей целесообразно использовать коэффициент их непроницаемости, определяемый как отношение количества экземпляров порубочных остатков, сграбленных (собранных) с определенной площади (м^2), к количеству всех экземпляров порубочных остатков, находившихся на указанной площади до начала сграбливания (сбора), с учетом плотности (шт./м^2) их скапливания.

Для распространенных в отечественном машиностроении граблей с ломаным профилем зубьев при наиболее вероятном интервале между двумя соседними зубьями около 500 мм коэффициент их непроницаемости варьирует в диапазоне 0,82–0,91.

Для определения производительности работы граблей предложена усовершенствованная формула, включающая в себя коэффициент непроницаемости указанных технических средств.

Список источников

1. Винокуров В.Н., Силаев Г.В., Золотаревский А.А. Машины и механизмы лесного хозяйства и садово-паркового строительства. Москва: Академия, 2004. 400 с.
2. Григорьев И.В., Куницкая О.А., Рудов С.Е. и др. Технология и система машин для разубки трасс линейных объектов // Энергия: экономика, техника, экология. 2019. № 10. С. 62–68. DOI: 10.7868/S0233361919100082.
3. Ивашев М.В. Научные основы совершенствования машин для удаления древесно-кустарниковой растительности при непрерывном движении базового трактора: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.01. Петрозаводск: 2019. 36 с.
4. Кулик К.Н., Манаенков А.С., Раков А.Ю. и др. Полезащитное лесоразведение: значение, состояние, пути выхода из кризиса // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 1. С. 24–27.
5. Михин В.И. Полезащитное лесоразведение Центрального Черноземья // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 79. С. 378–391.
6. Мохирев А.П., Медведев С.О., Зырянов М.А. Эффективное освоение древесных ресурсов лесного региона: оценка, заготовка, переработка: монография. Красноярск: Амальгама, 2019. 240 с.
7. Платонов А.А. Технологические процессы удаления нежелательной растительности различными средствами механизации // Resources and Technology. 2017. Т. 14, № 2. С. 33–48. DOI: 10.15393/j2.art. 2017.3761.
8. Попов А.В., Вавин В.С. Агротехнические уходы в полезащитной лесной полосе // Научный альманах. 2016. № 10-2(24). С. 249–252. DOI:10.17117/na.2016.10.02.249.
9. Примаков Н.В. Влияние полезащитных лесных полос на состояние агроландшафтов // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 2(89). С. 89–95. DOI: 10.51318/FRET.2024.89.2.010.
10. Сунгатуллин З.Р., Хисамутдинова А.Н., Тимерьянов А.Ш. Влияние полезащитных полос на снегозадержание и урожайность сельскохозяйственных культур // Вестник науки. 2024. Т. 1, № 4(73). С. 643–651.
11. Троц В.Б. Агроэкологическое влияние полезащитных лесных полос // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 4(60). С. 189–192.
12. Турчин Т.Я., Мартынюк А.А., Чеплянский И.Я. Состояние государственных защитных лесных полос юго-востока европейской части России и повышение их устойчивости: монография. Пушкино: ВНИИЛМ, 2025. 192 с.
13. Щербаков А.С., Богомазов С.В., Солодков Н.Н. и др. Экономический эффект мелиоративного влияния полезащитных лесных полос // Нива Поволжья. 2024. № 4(72). 40002. DOI: 10.36461/NP.2024.72.4.026.
14. Fernandez-Lacruz R., Edlund M., Bergström D. et al. Productivity and profitability of harvesting overgrown roadside verges – a Swedish case study // International Journal of Forest Engineering. 2021. Vol. 32(1). Pp. 19–28. DOI: 10.1080/14942119.2020.1822664.
15. Gerasimov Y., Senko S., Karjalainen T. Prospects of Forest Road Infrastructure Development in Northwest Russia with Proven Nordic Solutions // Scandinavian Journal of Forest Research. 2013. Vol. 28(8). Pp. 758–774. DOI: 10.1080/02827581.2013.838299.
16. Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A. et al. Simulation studies on line intersect sampling of residues left after cut-to-length logging // Croatian Journal of Forest Engineering. 2020. Vol. 41(1). Pp. 95–107. DOI: 10.5552/crojfe.2020.531.
17. Laitila J., Väättä K. Productivity and cost of harvesting overgrowth brushwood from roadsides and field edges // International Journal of Forest Engineering. 2021. Vol. 32(2). Pp. 1–15. DOI: 10.1080/14942119. 2021.1903790.
18. Laitila J., Väättä K. Productivity of harvesting and clearing of brushwood alongside forest roads // Silva Fennica. 2020. Vol. 54(5). Pp. 21–34. DOI: 10.14214/sf.10379.
19. Louis L.T., Kizha A.R., Daigneault A. et al. Factors Affecting Operational Cost and Productivity of Ground-Based Timber Harvesting Machines: a Meta-analysis // Current Forestry Reports. 2022. Vol. 8. Pp. 38–54. DOI: 10.1007/s40725-021-00156-5.
20. Nilsson D., Grönlund O. Productivity and cost of harvesting roadside brushwood and small trees in Sweden: a simulation study // International Journal of Forest Engineering. 2024. Vol. 35(3). Pp. 456–469. DOI: 10.1080/14942119.2024.2336686.
21. Yoshimura T., Suzuki Y., Sato N. Application of System Dynamics Simulation to Assess System Productivity of Forest Harvesting Systems: A Case Study from Japan // Forests. 2025. Vol. 16(5). Article No. 734. DOI: 10.3390/f16050734.

References

1. Vinokurov V.N., Silaev G.V., Zolotarevsky A.A. Machines and mechanisms of forestry and gardening construction. Moscow: Academiya Publishers; 2004. 400 p. (In Russ.).
2. Grigoriev I.V., Kunitskaya O.A., Rudov S.E. et al. Technology and system of machines for cutting the routes of linear objects. *Energy: Economics, Engineering, Ecology*. 2019;10:62-68. DOI: 10.7868/S0233361919100082. (In Russ.).

3. Ivashnev M.V. Scientific foundations for improving machinery for removing trees and shrubs under continuous tractor motion: Author's Abstract of Doctoral Dissertation in Engineering Sciences: 05.21.01. Petrozavodsk; 2019. 36 p. (In Russ.).
4. Kulik K.N., Manaenkov A.S., Rakov A.Yu. et al. Field-protecting forestation: significance, state of the art, ways for recovery from crisis. *Vestnik of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2012;1:24-27. (In Russ.).
5. Mikhin V.I. Field-protective afforestation of the Central Chernozem Region. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2012;79:378-391. (In Russ.).
6. Mokhirev A.P., Medvedev S.O., Zyryanov M.A. Efficient development of wood resources in the forest region: assessment, harvesting, processing: monograph. Krasnoyarsk: Amalgama Publishers; 2019. 240 p. (In Russ.).
7. Platonov A.A. The technological processes to remove uncontrolled vegetation by various means of mechanization. *Resources and Technology*. 2017;14(2):33-48. DOI: 10.15393/j2.art.2017.3761. (In Russ.).
8. Popov A.V., Vavin V.S. Cultural care in the forest shelter belts. *Science Almanac*. 2016;10-2(24):249-252. DOI: 10.17117/na.2016.10.02.249. (In Russ.).
9. Primakov N.V. Influence of forest shelter belts on the condition of agrolandscapes. *Forests of Russia and Economy in them*. 2024;2(89):89-95. DOI: 10.51318/FRET.2024.89.2.010. (In Russ.).
10. Sungatullin Z.R., Khisamutdinova A.N., Timeryanov A.Sh. Effect of protective strips on snow retention and crop yields. *Science Bulletin*. 2024;4(73):643-651. (In Russ.).
11. Trots V.B. Agroecological impact of field-protective afforestation belts. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2016;4(60):189-192. (In Russ.).
12. Turchin T.Ya., Martyniuk A.A., Cheplyansky I.Ya. State shelterbelts condition in south-east european Russia and its resistance build-up: monograph. Pushkino: All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry (VNIILM) Publishers; 2025. 192 p. (In Russ.).
13. Shcherbakov A.S., Bogomazov S.V., Solodkov N.N. et al. Economic effect of the reclamative impact of field protection forest belts. *Niva Povolzhya*. 2024;4(72):40002. DOI: 10.36461/NP.2024.72.4.026. (In Russ.).
14. Fernandez-Lacruz R., Edlund M., Bergström D. et al. Productivity and profitability of harvesting overgrown roadside verges – a Swedish case study. *International Journal of Forest Engineering*. 2021;32(1):19-28. DOI: 10.1080/14942119.2020.1822664.
15. Gerasimov Y., Senko S., Karjalainen T. Prospects of Forest Road Infrastructure Development in Northwest Russia with Proven Nordic Solutions. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2013;28(8):758-774. DOI: 10.1080/02827581.2013.838299.
16. Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A. et al. Simulation studies on line intersect sampling of residues left after cut-to-length logging. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2020;41(1):95-107. DOI: 10.5552/crojfe.2020.531.
17. Laitila J., Väättä K. Productivity and cost of harvesting overgrowth brushwood from roadsides and field edges. *International Journal of Forest Engineering*. 2021;32(2):1-15. DOI: 10.1080/14942119.2021.1903790.
18. Laitila J., Väättä K. Productivity of harvesting and clearing of brushwood alongside forest roads. *Silva Fennica*. 2020;54(5):21. DOI: 10.14214/sf.10379.
19. Louis L.T., Kizha A.R., Daigneault A. et al. Factors Affecting Operational Cost and Productivity of Ground-Based Timber Harvesting Machines: a Meta-analysis. *Current Forestry Reports*. 2022;8:38-54. DOI: 10.1007/s40725-021-00156-5.
20. Nilsson D., Grönlund O. Productivity and cost of harvesting roadside brushwood and small trees in Sweden: a simulation study. *International Journal of Forest Engineering*. 2024;35(3):456-469. DOI: 10.1080/14942119.2024.2336686.
21. Yoshimura T., Suzuki Y., Sato N. Application of System Dynamics Simulation to Assess System Productivity of Forest Harvesting Systems: A Case Study from Japan. *Forests*. 2025;16(5):734. DOI: 10.3390/f16050734.

Информация об авторах

А.А. Платонов – кандидат технических наук, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», paa5@rambler.ru.

М.А. Гнусов – доктор технических наук, доцент, руководитель лаборатории лесного машиностроения Инжинирингового центра ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», mgusov@yandex.ru.

Information about the authors

A.A. Platonov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Forestry Mechanization and Machine Design, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, paa5@rambler.ru.

M.A. Gnusov, Doctor of Engineering Sciences, Docent, Head of the Forest Engineering Laboratory at the Engineering Center, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, mgusov@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 12.11.2025; одобрена после рецензирования 26.12.2025; принята к публикации 15.01.2026.

The article was submitted 12.11.2025; approved after reviewing 26.12.2025; accepted for publication 15.01.2026.

© Платонов А.А., Гнусов М.А., 2026