



МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ ЛЕСНЫХ ГРАБЛЕЙ

Ольга В. Терновская¹ ✉, olgaternovskay@yandex.ru

Алексей А. Платонов², paa7@rambler.ru, ☎ 0000-0003-4114-4636

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2, г. Ростов-на-Дону, 344038, Российская Федерация

Выполнение работ по сбору и сгребанию порубочных остатков на территориях линейных инфраструктурных объектов нередко осуществляется специализированным оборудованием, устанавливаемым на тракторах или многофункциональных машинах и называемым «Лесные грабли», при этом указанное оборудование может быть классифицировано по целому ряду признаков. С учётом выявленного автором значительного влияния субъективной составляющей, оказывающей воздействие на непосредственное отнесение классифицируемых лесных граблей к тому или иному элементу соответствующего классификационного ряда, целью исследования являлась разработка математической модели классифицирования технических средств для сбора и сгребания порубочных остатков. Автором были обоснованы начальные граничные условия и представлена математическая модель образования визуализированного объёма распределения основных конструктивных параметров лесных граблей, предложены значения критерия густоты распределения зубьев средств механизации удаления порубочных остатков, а также критерия удельной ширины данных технических средств, приведены примеры классификационного распределения моделей лесных граблей по указанным критериям, изложены допущения и пояснения к рассмотренной математической модели, позволяющей выполнить объективную классификацию средств механизации сбора и сгребания порубочных остатков, сформулированы выводы по результатам проведённого авторами исследования.

Ключевые слова: порубочные остатки, лесные грабли, классификация, моделирование, критерии, допущения.


Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Терновская, О. В. Моделирование классификационных признаков лесных граблей / О. В. Терновская, А. А. Платонов // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11. – № 3 (43). – С. 172–182. – Библиогр.: с. 180–181 (12 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.3/14>.

Поступила: 17.06.2021 **Принята к публикации:** 24.09.2021 **Опубликована онлайн:** 01.10.2021

MODELING THE CLASSIFICATION FEATURES OF FOREST RAKE

Olga V. Ternovskaya¹ ✉, olgaternovskay@yandex.ru

Alexey A. Platonov², paa7@rambler.ru,  0000-0003-4114-4636

¹ Voronezh State Technical University, st. 20-letiya Oktyabrya, 84, Voronezh, 394006, Russian Federation

² Rostov State Transport University, Rostov Rifle Regiment of the People's Militia, 2, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract

Work on the collection and raking of chopped residues in the territories of linear infrastructure facilities is often carried out by specialized equipment in-stalled on tractors or multifunctional machines and called «Forest rakes», moreover, the specified equipment can be classified according to a number of characteristics. Taking into account the significant influence of the subjective component identified by the author, which has an impact on the direct assignment of classified forest rakes to one or another element of the corresponding classification series, the purpose of the study was to develop a mathematical model for the classification of technical means for collecting and raking up chopped residues. The author substantiated the initial boundary conditions and presented a mathematical model for the formation of a visualized volume of distribution of the main design parameters of a forest rake, the values of the criterion of the density of the distribution of teeth of the means of mechanization of removal of cut residues, as well as the criterion of the specific width of these technical means, examples of the classification distribution of forest rake models according to the specified criteria are given, the assumptions and explanations for the considered mathematical model are stated, which makes it possible to carry out an objective classification of the means of mechanization of collection and raking of chopped residues, formulated conclusions based on the results of the study conducted by the authors.

Keywords: chopped residues, forest rake, classification, modeling, criteria, assumptions.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Ternovskaya O.V., Platonov A.A. (2021) Modeling the classification features of forest rake. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 11, No. 3 (43), pp. 172-182 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.3/14>.

Received: 17.06.2021 **Accepted for publication:** 24.09.2021 **Published online:** 01.10.2021

Введение

При выполнении работ по очистке территорий от нежелательной поросли нередко в составе технологического процесса предусмотрена технологическая операция сбора и сгребания порубочных остатков [1, 3]. В случае выполнения указанной операции механическим способом [2] сбор и/или сгребание срезанной/вырубленной поросли осуществляется специализированным оборудованием, устанавливаемым на тракторах или многофункциональных машинах (рис. 1).

Указанное оборудование (с предложенным нами названием к применению в документации по

организации работ, связанных с очисткой инфраструктурных территорий от нежелательной древесно-кустарниковой растительности, а именно – «лесные грабли», обоснование которого не входит в цели и задачи данного исследования) может быть классифицировано по целому ряду признаков, к которым относятся, например, назначение, вид и способ агрегатирования с базовым транспортным средством, а также ряд конструктивных особенностей, среди которых, в свою очередь, можно выделить классификационные признаки «Ширина захвата лесных граблей» и «Густота лесных граблей» (рис. 2).

Отметим, что классификационные ряды, соответствующие указанным классификационным признакам, подвержены значительному влиянию субъективной составляющей, оказывающей воз-

действие на непосредственное отнесение классифицируемых лесных граблей к тому или иному элементу соответствующего классификационного ряда.



Рисунок 1. Сбор и сгребание порубочных остатков

- а) грабли лесные СВЛ-2,1 + трактор МТЗ-1523В;
 б) грабли лесные Digga Stick Rake + многофункциональная машина Cat
 (Источник – открытые данные производителей оборудования)

Figure 1. Collection and raking of felling residues

- a) forest rake SVL-2,1 + tractor MTZ-1523V; b) forestry rake Digga Stick Rake + multifunctional machine Cat
 (Source – open data from equipment manufacturers)

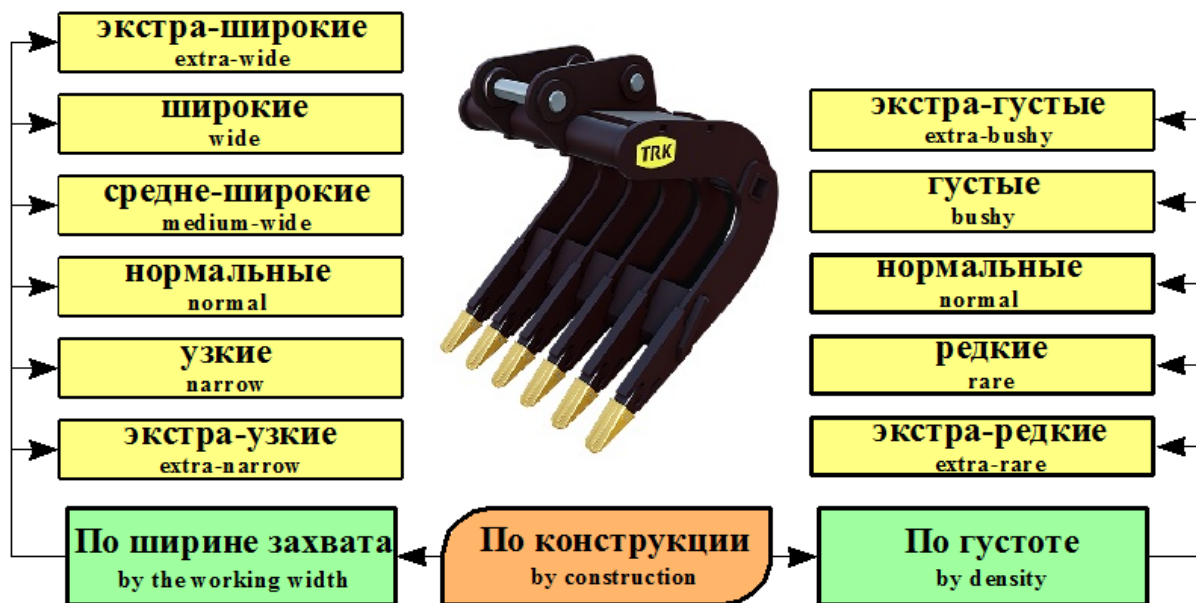


Рисунок 2. Компонент классификации лесных граблей

(Источник – собственная разработка авторов)

Figure 2. Forest rake classification component

(Source – authors' own development)



Рисунок 3. Примеры классифицируемых моделей лесных граблей
(Источник – открытые данные производителей оборудования)

Figure 3. Examples of classified forest rake models
(Source – open data from equipment manufacturers)

Подобным же образом более редкими могут показаться грабли Clearing Rake Woodcracker G850 (рис. 3, в; $B_R = 850$ мм, $Z = 5$, $B_Z = 32$ мм) по сравнению с EM 2200 G850 (рис. 3, г; Беларусь; $B_R = 2300$ мм, $Z = 5$, $B_Z = 75$ мм) ввиду одинакового количества зубьев, расположенных на меньшей ширине захвата (при выявленной нами фактически также одинаковой густоте указанных технических средств). Аналогично при сравнении лесных граблей с практически одинаковой шириной их захвата, например, вышеприведённых Clearing Rake Woodcracker G850 и Cat Excavator Rakes B-Linkage (с параметрами $B_R = 840$ мм, $Z = 3$, $B_Z = 57$ мм) может сложиться ложное впечатление о необходимости их отнесения к одному классификационному ряду, в то время как лишь комплексное рассмотрение параметров данных граблей позволило нам классифицировать их более точно.

Выполненный нами информационный поиск и анализ работ, посвящённых вопросам механизации удаления нежелательной поросли [4, 8] с территорий различных инфраструктурных объектов [7, 10], позволил выявить, что в настоящее время как отечественными [5, 9, 12], так и зарубежными исследователями [11] не уделяется должного внимания вопросам повышения эффективности и качества работы технических средств сбора и сгребания порубочных остатков, в том числе, вопросам их классифицирования.

Цель исследования

С учётом вышеизложенного, целью исследования является разработка математической модели

классифицирования технических средств для сбора и сгребания порубочных остатков.

Для реализации сформулированной цели исследований нам необходимо было решить следующие задачи:

1. Выявить граничные критерии основных конструктивных параметров рассматриваемых технических средств.
2. Установить основную систему уравнений, позволяющих выполнить объективную классификацию технических средств для сбора и сгребания порубочных остатков.

Материалы и методы исследований

Объектом исследования являлся процесс функционирования системы надлежащего содержания ряда инфраструктурных объектов (полос отвода железных и автомобильных дорог, газопроводов, нефтепроводов, высоковольтных линий электропередач) и иных территорий.

Предметом исследования являлись технологические процессы удаления нежелательной древесно-кустарниковой растительности с территорий ряда инфраструктурных объектов и средства механизации, применяемые при выполнении соответствующих технологических операций.

Материалами исследований являлась актуальная на момент выполнения работы научно-техническая информация, в частности каталоги технических средств сбора и сгребания нежелательной растительности, размещённые на официальных сайтах производителей указанной техники.

Для решения поставленных задач были применены методы математического моделирования и оптимизации (в частности – метод дихотомии, при

выявлении экстремума критической ширины лесных граблей).

Результаты исследований и их обсуждение

Для корректного описания математической модели нами были введены следующие начальные граничные критерии моделирования распределения основных конструктивных параметров лесных граблей:

$$\begin{cases} Z \geq 2 \\ 500 \leq B_R \leq 4000 \text{ мм} \\ 12 \leq B_Z \leq 100 \text{ мм} \end{cases} \quad (1)$$

В качестве целевой функции моделирования был принят объём распределения основных конструктивных параметров лесных граблей V_{Rpar} .

Выполним пояснения к вышеуказанным величинам граничных критериев. Принятое нами количество зубьев $Z \geq 2$ обусловлено тем, что по современным представлениям сельско- и/или лесохозяйственные грабли, выполняющие очистку поверхности механическим способом, являются орудием, снабжённым несколькими выступающими рабочими элементами (зубьями), форма, размеры и расстояния между которыми определяется назначением и областью применения данных граблей. При технологической операции сбора (сгребания) [6] рабочие элементы граблей, взаимодействуя с удаляемыми объектами, увлекают их за собой в направлении, заданном движением базовой машины (или отдельного привода данных граблей). При этом уменьшение количества зубьев до одного ($Z = 1$) вызывает затруднения в части увлечения растительности в требуемом направлении, перевода соответствующее оборудование в разряд «рыхлители», при этом нулевое количество зубьев ($Z = 0$) характерно для отвалов и ковшей.

Принятый нами в исследование диапазон ширины захвата лесных граблей $500 \leq B_R \leq 4000$ мм был обусловлен следующим. Выполненным нами анализом основных конструктивных параметров современных отечественных и зарубежных моделей лесных граблей было выявлено фактическое отсутствие рассматриваемых технических средств с шириной захвата $B_R < 500$ мм и одновременно с этим крайне низкую долю (3,08%) лесных граблей с диапазоном размеров $500 \leq B_R \leq 750$ мм, напри-

мер, Yantai Jiangtu JT04 (Китай, $B_R = 500$ мм, $Z = 11$), Kenco KCER24 (США, $B_R = 610$ мм, $Z = 3$), ЛГ-82/2 (Россия, $B_R = 712$ мм, $Z = 2$) и т.д. С учётом этого, нами было принято решение установить первоначальную величину $B_{Rmin} = 500$ мм. Аналогично нами была выявлена крайне низкая доля (3,71%) лесных граблей с диапазоном размеров $3500 \leq B_R \leq 4000$ мм, например, Ransome Semi-Low Profile Dozer Rakes (США, $B_R = 3500$ мм, $Z = 12$), Wallace Industrial Tractor Rake и Kenco RK02-144 (США, с параметрами $B_R = 3660$ мм, $Z = 10$). С учётом полученного незначительного количества моделей экстра-широких граблей (> 4000 мм; около 1,46% от общего количества проанализированных моделей), нами было принято решение установить первоначальную величину $B_{Rmax} = 4000$ мм. Отдельно отметим, что ввиду выявленной нами в процессе проведения исследований выраженной точки экстремума для верхней условной границы зоны средне-широких граблей $B_{Rmax}^{(IV-I)} = 4224,892$ мм при $B_Z = 61,112$ мм (рис. 4), в разработанной математической модели классифицирования лесных граблей в качестве граничного значения был принят рассмотренный ниже параметр $B_R^{(V-IV)} = 4224,892$ мм.

В части принятого нами в исследование диапазона ширины одного зуба лесных граблей $12 \leq B_Z \leq 100$ мм отметим следующее. Анализ выборки данных позволил выявить фактическое отсутствие лесных граблей с шириной одного зуба $B_Z < 10$ мм и одновременно с этим низкую долю (8,07%) лесных граблей с диапазоном ширины одного зуба $12 \leq B_Z \leq 19$ мм, например, NM Mini Root Rake (Канада, $B_R = 750$ мм, $Z = 6$, $B_Z = 12$ мм), вышеупомянутые ЛГ-82/2 ($B_Z = 15$ мм), Digga Stick Rake (Австралия, $B_R = 1232$ мм, $Z = 11$, $B_Z = 16$ мм) и т.д. С учётом вышеизложенного, а также приняв во внимание, что в англоязычных странах (США, Великобритания, Австралия, ЮАР и т.д.) распространена дюймовая система измерений, нами было принято решение установить вели-

чину $B_{Z\min} = 12$ мм (1/2 дюйма: $25,4/2 = 12,7$ мм). Аналогично нами была выявлена крайне низкая доля (4,32%) лесных граблей с диапазоном ширины одного зуба $75 \leq B_Z \leq 100$ мм, например, EM 2200 (Беларусь, $B_R = 2300$ мм, $Z = 5$, $B_Z = 75$ мм), TRK Severe Duty Rake (Канада, $B_R = 1270$ мм, $Z = 6$, $B_Z = 90$ мм) и т.д. При этом лишь для одной модели граблей нами была выявлена ширина одного зуба с величиной $B_Z \geq 100$, а именно, для граблей TRK Severe Duty Scoop Rake (Канада) ши-

рина $B_Z = 140$ мм. С учётом вышеизложенного, а также приняв во внимание рассуждения о дюймовой системе измерений, нами было принято решение установить величину $B_{Z\max} = 100$ мм (1 дюйм: $25,4 \cdot 4 = 101,6$ мм).

В целом математическая модель образования визуализированного объёма распределения V_{Rpar} основных конструктивных параметров лесных граблей была сформирована нами в следующем виде:

$$V_{Rpar} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} SW_R = f(B_R; B_Z) \\ 0 \leq D_{Rz} = \frac{B_{pr}}{B_R} \leq 1 \\ 0 \leq I_{Rz} = \frac{B_Z}{B_{pr}} \leq 1 \\ B_R^{(V-IV)} = 4224892 \\ \left(\begin{array}{l} B_R^{(IV-I)} = -1,222 \cdot B_Z^2 + 149,357 \cdot B_Z - 338836 \\ \text{при } B_Z^{IV-I} \geq 84,2351: B_{R\text{кopp}}^{(IV-I)} = -0,1802 \cdot B_Z^2 + 43,665 \cdot B_Z + 1171994 \end{array} \right. \\ \left(\begin{array}{l} B_R^{(I-II)} = -0,674 \cdot B_Z^2 + 92,853 \cdot B_Z - 678,523 \\ \text{при } B_Z^{I-II} \geq 68,7878: B_{R\text{кopp}}^{(I-II)} = -0,1802 \cdot B_Z^2 + 43,665 \cdot B_Z + 368466 \end{array} \right. \\ B_R^{(II-III)} = -0,0957 \cdot B_Z^2 + 24,994 \cdot B_Z + 100,076 \\ B_R^{(III-VI)} = -0,0112 \cdot B_Z^2 + 6,324 \cdot B_Z + 264,62 \\ B_{Rc} \geq 3 \cdot B_Z \\ B_{pr} = \frac{B_R - Z \cdot B_Z}{Z - 1} \\ 12 \leq B_Z \leq 100 \\ Z \geq 2 \end{array} \right.$$

где SW_R – критерий удельной ширины лесных граблей (рис. 4); D_{Rz} – критерий густоты распределения зубьев (табл. 1); I_{Rz} – критерий ширины зубьев; \mathfrak{R} – множество чисел; M – множество целых чисел: $M \in \mathfrak{R}$; Z – количество зубьев лесных граблей: $Z \in M$; B_R – ширина захвата лесных граблей, мм: $B_R \in \mathfrak{R}$; B_Z – ширина одного зуба лесных граблей, мм: $B_Z \in \mathfrak{R}$; B_{pr} – расстояние между двумя соседними зубьями лесных граблей, мм; $B_R^{(V-IV)}$ – нижняя (минимальная) граница распределения экстра-широких лесных граблей, мм (кривая 1, рис. 4); $B_R^{(IV-I)}$ – граница разделения зон широких и средне-широких лесных граблей, мм (кривая 8, рис. 4); $B_{R\text{кopp}}^{(IV-I)}$ – скорректированная граница разделения зон широких и средне-широких лесных граблей, мм (кривая 2, рис. 4); $B_R^{(I-II)}$ – граница разделения зон средне-широких и нормальных по ширине лесных граблей, мм (кривая 7, рис. 4); $B_{R\text{кopp}}^{(I-II)}$ – скорректированная граница разделения зон средне-широких и нормальных по ширине лесных граблей, мм (кривая 3, рис. 4); $B_R^{(II-III)}$ – граница разделения зон нормальных и узких по ширине лесных граблей, мм (кривая 4, рис. 4); $B_R^{(III-VI)}$ – граница разделения зон узких и экстра-узких лесных граблей, мм (кривая 5, рис. 4); B_{Rc} – критическая (минимальная) ширина захвата лесных граблей, мм (кривая 6, рис. 4).

Значения критерия D_{Rz} густоты распределения зубьев лесных граблей приведены в табл. 1.

Укажем следующие допущения и пояснения к математической модели классифицирования технических средств для сбора и сгребания порубочных остатков:

1. Минимальная и максимальная ширина зубьев лесных граблей B_Z на практике выходит за рамки указанного нами диапазона и определяется конструктивно-технологическими, экономическими и целеполагающими ограничениями, накладываемыми производителем соответствующих технических средств и/или их потребителем (эксплуатирующей организацией).

Таблица 1
Критерий густоты распределения зубьев
Table 1
Criterion for the density of distribution teeth

Критерий D_{Rz} Criterion	Характеристика лесных граблей Characteristics of the forest rake
0 ... 0,04	экстра-густые extra-bushy
0,04 ... 0,09	густые bushy
0,09 ... 0,25	нормальные normal
0,25 ... 0,5	редкие rare
0,5 ... 1,0	экстра-редкие extra-rare

Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations

2. Верхняя (максимальная) граница распределения экстра-широких лесных граблей является теоретически бесконечной, при этом её практические ограничения аналогичны ограничениям, указанным в п. 1 данных допущений (пояснений).

3. Расстояние между зубьями B_{pr} лесных граблей принимается одинаковым (в пределах установленных производителем допустимых отклонений).

4. Размеры усиливающих конструктивных элементов, приводящих к увеличению ширины зубьев на ограниченном участке их длины, не учитывались.

5. Достижение граничного критерия ширины зубьев лесных граблей $I_{Rz\text{ min}} = 0$ соответствует переходу лесных граблей в категорию «Отвалы, ковши», а $I_{Rz\text{ max}} = 1$ – в категорию «Лесные щётки».

В соответствии с разработанной нами математической моделью на рис. 4 и 5 приведены примеры классификационного распределения лесных граблей по критерию удельной ширины граблей SW_R и критерию густоты зубьев D_{Rz} :

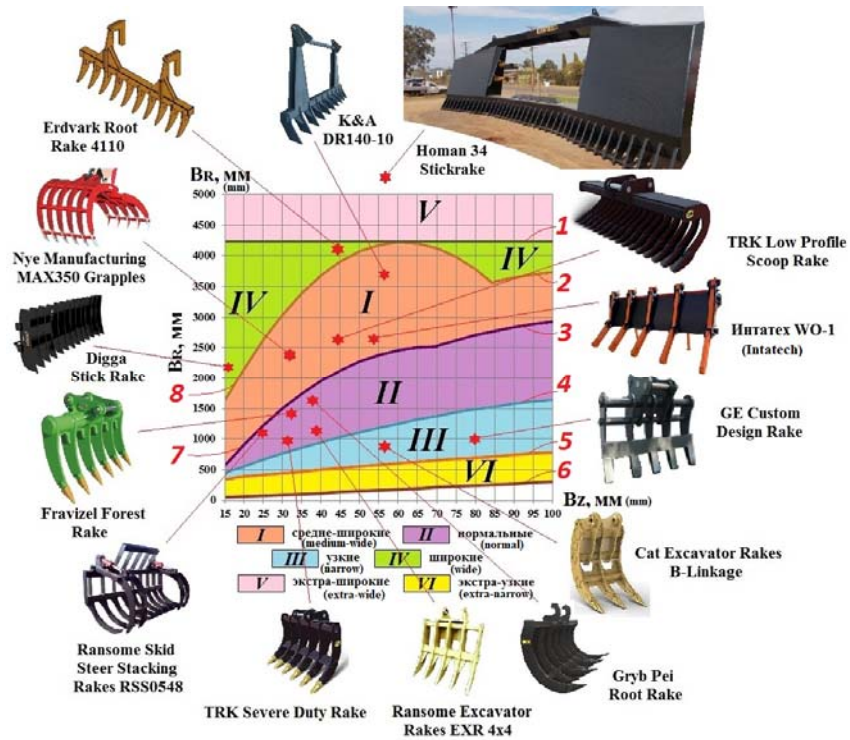


Рисунок 4. Классификационное распределение лесных граблей по критерию удельной ширины граблей SW_R (Источник – собственная разработка авторов)

Figure 4 Classification distribution of forest rakes according to the criterion of the specific width of the rake SW_R (Source - authors' own development)

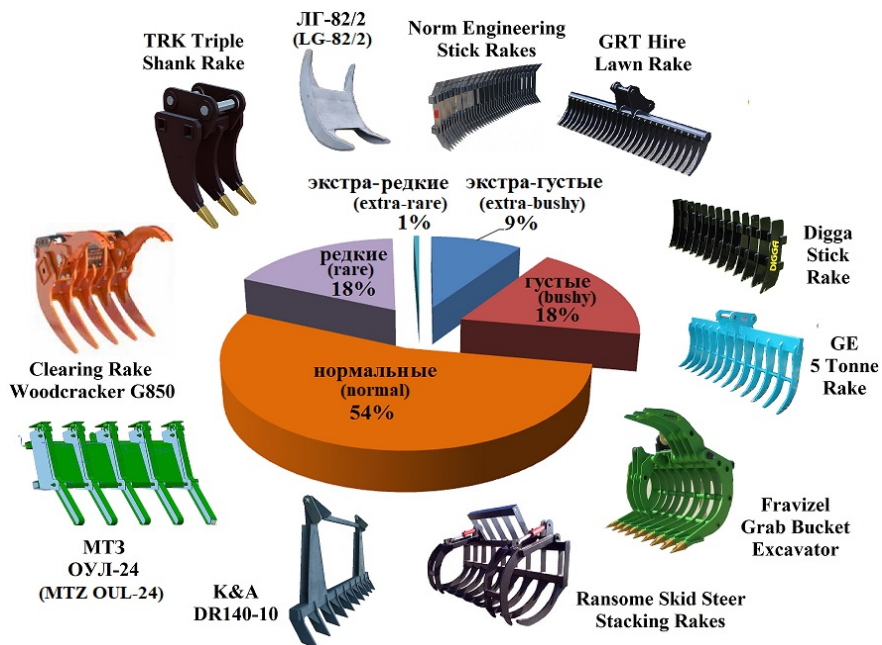


Рисунок 5. Классификационное распределение моделей лесных граблей по критерию густоты зубьев D_{Rz} (Источник – собственная разработка авторов)

Figure 5. Classification distribution of forest rake models according to the criterion of tooth density D_{Rz} (Source - authors' own development)

Выводы и рекомендации

1. При выполнении классификации лесных граблей субъективная составляющая оказывает значительное влияние на результат отнесения рассматриваемых технических средств к тому или иному элементу соответствующего классификационного ряда, что обуславливает необходимость осуществления математического моделирования распределения ряда признаков лесных граблей.

2. Преимущественное распределение основных конструктивных параметров лесных граблей находится в диапазонах: ширина захвата 500...4000 мм, ширина одного зуба 12...100 мм, количество зубьев ≥ 2 .

3. Достижение граничного критерия ширины зубьев лесных граблей $I_{Rz \min} = 0$ соответствует переходу лесных граблей в категорию «Отвалы, ковши», а $I_{Rz \max} = 1$ – в категорию «Лесные щётки». Более 50% лесных граблей относятся к нормальным по густоте распределения зубьев, фактически отсутствуют экстра-редкие лесные грабли с количеством зубьев $Z = 2$.

4. Для корректного описания применяемых в ряде технологических процессов лесных граблей рекомендуем организациям, занимающимся удалением нежелательной поросли с ряда инфраструктурных объектов, применение критериев густоты распределения зубьев и удельной ширины граблей.

Список литературы

1. Бартенев И. М., Драпалок М. В., Казаков В. И. Совершенствование технологий и средств механизации лесовосстановления: монография. Москва : ФЛИНТА-Наука, 2013. 208 с. ISBN 978-5-9765-1746-2.
2. Григорьев И. В., Жукова А. И., Григорьева О. И., Иванов А. В. Средооадающие технологии разработки лесосек в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации: монография. Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2008. 176 с. ISBN 978-5-9239-0118-4.
3. Запруднов В. И., Карпачев С. П., Быковский М. А. Технологии и технические средства процессов лесосечных работ. Лесной вестник. *Forestry Bulletin*. 2017;21(1): 108-117. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-1-108-117.
4. Михайлов К. Л., Гушин В. А., Тараканов А. М. Организация сбора и переработки лесосечных отходов и дров на лесосеке. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2016;6(354): 98-109. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.98.
5. Мясищев Д. Г. Потенциал малой механизации в лесохозяйственных технологических процессах. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2018;1(361): 70-79. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.70.
6. Платонов А. А. Исследование и систематизация существующих технологических процессов удаления нежелательной растительности. Системы. Методы. Технологии. 2020;3(47): 63-73. DOI: 10.18324/2077-5415-2020-3-63-73.
7. Eck R. W., McGee H.W. *Vegetation Control for Safety*. Washington: U.S. Department of Transportation, 2008.
8. Ivashnev M. V., Vasiliev A. S., Shegelman I. R. Synthesis methodology of patentable technical solutions: a case of equipment for removing tree and shrubbery vegetation. *Astra Salvensis*. 2018;6: 531-540.
9. Karpachev S. P., Zaprudnov V. I., Bykovskiy M. A., Karpacheva I. P. 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.
10. Markowski K. Road safety aspects in the management of road maintenance. *MATEC Web of Conferences*. 2017;122: 02009. DOI: 10.1051/mateconf/20171220.
11. Schroth G. A Review of belowground interactions in agroforestry, focussing on mechanisms and management options. *Agroforestry Systems*. 1998;43(1-3): 5-34. DOI: 10.1023/A:1026443018920.

12. Shegelman I. R., Budnik P. V., Baklagin V. N. Simulation modeling of truck load of skidding tractors with a grapple for chokerless skidding. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2019;40(2): 297-310. DOI: 10.5552/crojfe.2019.567.

References

1. Bartenev I. M., Drapalyuk M. V., Kazakov V. I. Sovershenstvovaniye tekhnologiy i sredstv mekhanizatsii lesovosstanovleniya: monografiya [Improvement of technologies and means of reforestation mechanization: monograph]. Moscow, FLINT-Nauka, 2013, 208 p. (in Russian). ISBN 978-5-9765-1746-2.

2. Grigoriev I. V., Zhukova A. I., Grigorieva O. I., Ivanov A. V. Sredoshchadyashchiye tekhnologii razrabotki lesosek v usloviyakh Severo-Zapadnogo regiona Rossiyskoy Federatsii: monografiya [Medium-sparing technologies for the development of cutting areas in the North-West region of the Russian Federation: monograph]. St. Petersburg: SPbGLTU, 2008, 176 p. (in Russian). ISBN 978-5-9239-0118-4.

3. Zaprudnov V. I., Karpachev S. P., Bykovsky M. A. (2017) Tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva protsessov lesosechnykh rabot [Technologies and technical means of logging processes]. *Lesnoy Vestnik. Forestry Bulletin* [Lesnoy Vestnik. Forestry Bulletin], vol. 21, no. 1, pp. 108-117 (in Russian). DOI: 10.18698 / 2542-1468-2017-1-108-117.

4. Mikhailov K. L., Gushchin V. A., Tarakanov A. M. (2016) Organizatsiya sbora i pererabotki lesosechnykh otkhodov i drov na lesoseke [Organization of collection and processing of felling waste and firewood at the cutting area]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [Izvestia of higher educational institutions. Forest Journal], no. 6 (354). pp. 98-109 (in Russian). DOI: 10.17238 / issn0536-1036.2016.6.98.

5. Myasishchev D. G. (2018) Potentsial maloy mekhanizatsii v lesokhozyaystvennykh tekhnologicheskikh protsessakh [The potential of small-scale mechanization in forestry technological processes]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [Izvestiya of higher educational institutions. Forest Journal], no. 1 (361). pp. 70-79 (in Russian). DOI: 10.17238 / issn0536-1036.2018.1.70.

6. Platonov A. A. (2020) Issledovaniye i sistematizatsiya sushchestvuyushchikh tekhnologicheskikh protsessov udaleniya nezhelatel'noy rastitel'nosti [Research and systematization of existing technological processes for removing unwanted vegetation]. *Systems. Methods. Technologies*. no. 3 (47). pp. 63-73. (in Russian). DOI: 10.18324 / 2077-5415-2020-3-63-73.

7. Eck R. W., McGee H.W. *Vegetation Control for Safety*. Washington: U.S. Department of Transportation, 2008.

8. Ivashnev M. V., Vasiliev A. S., Shegelman I. R. Synthesis methodology of patentable technical solutions: a case of equipment for removing tree and shrubbery vegetation. *Astra Salvensis*. 2018;6: 531-540.

9. Karpachev S. P., Zaprudnov V. I., Bykovskiy M. A., Karpacheva I. P. 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.

10. Markowski K. Road safety aspects in the management of road maintenance. *MATEC Web of Conferences*. 2017;122: 02009. DOI: 10.1051/mateconf/20171220.

11. Schroth G. A Review of belowground interactions in agroforestry, focussing on mechanisms and management options. *Agroforestry Systems*. 1998;43(1-3): 5-34. DOI: 10.1023/A:1026443018920.

12. Shegelman I. R., Budnik P. V., Baklagin V. N. Simulation modeling of truck load of skidding tractors with a grapple for chokerless skidding. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2019;40(2): 297-310. DOI: 10.5552/crojfe.2019.567.

Сведения об авторах

✉ *Терновская Ольга Владимировна* – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной и компьютерной графики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Российская Федерация; e-mail: olgaternovskaya@yandex.ru.

Платонов Алексей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры тягового подвижного состава ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2, г. Ростов-на-Дону, 344038, Российская Федерация; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4114-4636>, e-mail: paa7@rambler.ru.

Information about the authors

✉ *Ternovskaya Olga Vladimirovna* – PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Engineering and Computer Graphics, Voronezh State Technical University, Voronezh, 394006, Russian Federation; e-mail: olgaternovskaya@yandex.ru.

Platonov Aleksey Aleksandrovich – PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Traction Rolling Stock, Rostov State Transport University, Rostov Rifle Regiment of the People's Militia Square, 2, Rostov-on-Don, 344038, Russian Federation; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4114-4636>, e-mail: paa7@rambler.ru.

✉- Для контактов/Corresponding author