

DOI: 10.58168/E-SEFTFI2024_44-48

УДК 630.36

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА ЛЕСНЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS FOR THE SELECTION OF FOREST TRACKED VEHICLES

Должиков И.С., кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия

Dolzhikov I.S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia

Хитров Е.Г., доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия

Khitrov E.G., Doctor of Technical Sciences, associate Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

Григорьев И.В., доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», Якутск, Россия

Grigorev I.V., Doctor of Technical Sciences, professor, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

Аннотация: Гусеничные тракторы, используемые в лесозаготовительном производстве и в лесном хозяйстве, отличаются большой вариативностью конструктивных параметров и эксплуатационных характеристик. Целью данного исследования является обоснование классификации гусеничных тракторов, для их эффективного выбора под конкретные природно-производственные условия лесозаготовительных и лесохозяйственных работ, на основе результатов анализа данных, полученных с использованием алгоритмов машинного обучения. Классификация предложена на основе разметки объектов (моделей тракторов), полученной при помощи метода кластеризации данных k-средних (k-means). Работа выполнена в рамках научной школы «Инновационные разработки в области лесозаготовительной промышленности и лесного хозяйства». Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

Abstract: Tracked tractors used in logging and forestry are characterized by great variability in design parameters and operational characteristics. The purpose of this study is to substantiate the classification of tracked tractors, for their effective selection for specific natural production conditions of logging and forestry operations, based on the results of data analysis obtained using machine learning algorithms. The classification is proposed based on the markup of objects (tractor models) obtained using the k-means data clustering method. The work was carried out within the framework of the scientific school "Innovative developments in the field of

logging industry and forestry". The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 23-16-00092, <https://rscf.ru/project/23-16-00092/>.

Ключевые слова: лесное машиностроение, системы машин, машинное обучение, гусеничные лесные машины.

Keywords: forest engineering, machine systems, machine learning, tracked forest machines.

Несмотря на доминирование, в настоящее время, на лесозаготовительных и в сельскохозяйственных предприятиях России импортных колесных лесных машин, особенно на лесосечных работах, гусеничные машины по-прежнему достаточно широко применяются [1, 2]. Их преимуществом, прежде всего, является большее тяговое усилие (при прочих равных условиях), а также меньшее давление на опорную поверхность, и, соответственно, меньшее уплотнение почвы и колееобразование [3, 4]. Основной проблемой гусеничных машин является невозможность их самостоятельного перебазирования с объекта на объект (с лесосеки на лесосеку, с вырубki на вырубку) по дорогам общего пользования, а также меньшие эксплуатационные скорости, но в условиях лесосек и вырубok последнее обстоятельство, обычно, не сильно влияет на производительность [5]. В условиях почвогрунтов со слабой несущей способностью, глубокого снега, гусеничные машины показывают значительно лучшую эксплуатационную и экологическую эффективность, что дает основания рассчитывать на их дальнейшее достаточно широкое применение в лесозаготовительном производстве, лесном и сельском хозяйстве.

Для упрощения разработки и применения рекомендаций по организации технологических процессов в области лесозаготовительного производства, лесного и сельского хозяйства используются различные классификации техники (машин и оборудования). Как правило, в классификациях используются такие характеристики машин, как масса, мощность двигателя, тяговое усилие, грузоподъемность, энергонасыщенность, тяговый класс (для машин, выполняющих транспортные и технологические операции). При этом диапазоны изменения значений характеристик (признаков) в различных источниках могут отличаться. Зачастую диапазоны получают путем деления размаха признака на равные интервалы, число которых принимается с учетом предыдущего опыта. Ввиду большого числа признаков и их значительной вариативности можно утверждать, что для экспертов разработка классификаций является нетривиальной трудоемкой задачей.

Ранее для разработки классификаций отдельных типов лесных машин результативно использованы методы интеллектуального анализа данных и машинного обучения. Доказано, что использование алгоритмов машинного обучения позволяет дополнительно обосновать экспертные оценки объективными числовыми метриками. Для гусеничных тракторов и вездеходных машин, предназначенных для лесозаготовительного производства, лесного и сельского хозяйства, такой подход до настоящего времени не использовался, несмотря на практическую потребность в уточнении результатов, полученных ранее.

Для проведения исследования использованы материалы, полученные из открытых источников в сети «Интернет» (данные производителей гусеничной техники Bobcat, Case, Caterpillar, JCB, Komatsu, Kubota, Takeuchi, Volvo, Wacker Neuson, Yanmar; всего 104 модели гусеничных тракторов). Рассмотрены сведения о массе M [кг], мощности двигателя N [кВт], тяговом усилии TF [кН], длине L [мм], ширине W [мм], высоте H [мм] корпуса машины, длине TL [см] и ширине TW [см] гусеницы, дорожном просвете GC [мм] и максимальной скорости V [км/ч]. В результате были получены основные статистические данные по рассмотренным признакам гусеничных тракторов и выполнен расчет коэффициентов линейной корреляции этих признаков. Анализ данных показал, что признаки отличаются вариативностью (для ряда из них стандартные отклонения сопоставимы со средними значениями), признаки, часто, тесно коррелируют между собой.

Решаемая задача относится к классу задач обучения без учителя, однозначное определение числа кластеров k в общем случае невозможно. Для обоснования этого параметра была рассмотрена суммарную ошибку разбиения I при $k = \text{var}$. В результате было установлено, что при $k \geq 4$ характер функции $I(k)$ близок к линейному и дальнейшее подразделение объектов не целесообразно. Таким образом, принято число кластеров $k = 4$. В полученной разметке кластеры обособлены, пересечений в проекции на две первые главные компоненты не отмечается.

Предложим классификацию гусеничных тракторов для лесозаготовительного производства, лесного и сельского хозяйства на основе полученных результатов. Границы варьирования характеристик гусеничных машин в классах получим пропорционально стандартным отклонениям признаков в соседних кластерах:

$$\max x_{j,k} = \mu_{j,k} + (\mu_{j,k+1} - \mu_{j,k}) \frac{S_{j,k}}{S_{j,k+1}} = \min x_{j,k+1}, \quad (1)$$

для сверхлегких и тяжелых машин соответственно нижняя и верхняя границы определены по формуле

$$\min x_{j,0} = \max\{\min x_{j,0}; \mu_{j,0} - 2S_{j,3}\}, \max x_{j,3} = \mu_{j,3} + 2S_{j,3} \quad (2)$$

При оценке коэффициента энергонасыщенности KE гусеничных машин в рамках предлагаемой классификации отмечены близкие значения KE для сверхлегких, легких и средних машин по предлагаемой классификации, а также сравнительно более низкую оценку коэффициента для тяжелых машин. Если учесть положение о том, что соотношение мощности двигателя и массы машины продиктовано практическим опытом проектирования и эксплуатации гусеничной техники, то предлагаемая классификация подтверждает теоретические рекомендации о нецелесообразности оснащать более тяжелые машины пропорционально более мощными двигателями. Считаем целесообразным учесть данное наблюдение в дальнейших исследованиях, направленных на разработку отечественной техники, замещающей импортную.

В результате выполненного анализа данных предложена классификация гусеничных тракторов, предназначенных для работы в лесозаготовительном производстве, лесном и сельском хозяйстве. Машины подразделяются на 4 класса по эксплуатационным

характеристикам (сверхлегкие, легкие, средние и тяжелые машины). Полученные результаты позволяют уточнить диапазоны изменения параметров машин при реализации математических моделей, прогнозирующих показатели технологической и экологической эффективности техники. Это, в свою очередь может служить поддержкой принятия решений при выборе гусеничных лесных машин для конкретных природно-производственных условий эксплуатации. В дальнейших исследованиях предполагается выполнить тестирование устойчивости классификации с использованием дополнительных статистических и модельных данных.

Список литературы

1. Чемшикова Ю.М. Транспортно-технологические системы для лесоразведения на базе гусеничных вездеходов / Ю.М. Чемшикова, А.Б. Давтян, О.И. Григорьева // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции ; отв. ред. Н.С. Захаров. 2020. С. 400-403.
2. Средооадающие технологии разработки лесосек в условиях Свердловской области / Э.Ф. Герц, О.А. Куницкая, В.А. Макуев, А.С. Дмитриев, Е.А. Тихонов, О.И. Григорьева // Деревообрабатывающая промышленность. 2023. № 1. С. 52-63.
3. О важности исследований экологической эффективности процесса трелевки / А.В. Калистратов, О.И. Григорьева, Г.В. Григорьев, И.Н. Дмитриева // Наука, образование, инновации в приграничном регионе. Материалы республиканской научно-практической конференции. Петрозаводский государственный университет. 2015. С. 7-9.
4. Forest preservation techniques in the Urals / E.F. Gerts, O.A. Kunitskaya, E.M. Runova, E.A. Tikhonov, R.S. Timokhov, E. Mikhaylenko, Ju. Chemshikova, P.N. Perfiliev // International Journal of Environmental Studies. 2023. T. 80. № 4. С. 1055-1064.
5. Технологические процессы сплошных и выборочных рубок леса при помощи универсальных лесозаготовительных машин / О.А. Куницкая, А.А. Кривошеев, А.С. Швецов, М.В. Степанищева, С.И. Ревяко, В.П. Друзьянова // Системы. Методы. Технологии. 2023. № 4 (60). С. 106-112.

References

1. Chemshikova Yu.M. Transport and technological systems for afforestation based on tracked all-terrain vehicles / Yu.M. Chemshikova, A.B. Davtyan, O.I. Grigorieva // Transport and transport-technological systems. Materials of the International Scientific and Technical Conference. Editor N.S. Zakharov. 2020. pp. 400-403.
2. Environmental technologies for the development of logging sites in the Sverdlovsk region / E.F. Hertz, O.A. Kunitskaya, V.A. Makeev, A.S. Dmitriev, E.A. Tikhonov, O.I. Grigorieva // The woodworking industry. 2023. No. 1. pp. 52-63.
3. On the importance of research on the ecological efficiency of the skidding process / A.V. Kalistratov, O.I. Grigorieva, G.V. Grigoriev, I.N. Dmitrieva // Science, education, innovations in the border region. Materials of the republican scientific and practical conference. Petrozavodsk State University. 2015. pp. 7-9.

4. Forest preservation techniques in the Urals / E.F. Gerts, O.A. Kunitskaya, E.M. Runova, E.A. Tikhonov, R.S. Timokhov, E. Mikhaylenko, Ju. Chemshikova, P.N. Perfiliev // International Journal of Environmental Studies. 2023. T. 80. № 4. C. 1055-1064.

5. Technological processes of continuous and selective logging using universal logging machines / O.A. Kunitskaya, A.A. Krivosheev, A.S. Shvetsov, M.V. Stepanishcheva, S.I. Revyako, V.P. Druzyanova // The system. Methods. Technologies. 2023. No. 4 (60). pp. 106-112.