

Вариант классификации современных бензомоторных пил

Д.В. Отмахов^{1a}, В.Г. Алексеенко^{1b}, С.И. Ревяко^{2c}, А.Л. Гребенюк^{3d}, Е.Г. Хитров^{4e}

¹ Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, 136, Хабаровск, Россия

² Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова

Донского государственного аграрного университета, ул. Пушкинская, 111, Новочеркасск, Россия

³ Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

⁴ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия

^a 003290@pnu.edu.ru, ^b 002509@pnu.edu.ru, ^c revyako77@mail.ru, ^d as17vl@list.ru, ^e yegorkhitrov@gmail.com

^a <https://orcid.org/0000-0002-9019-494X>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-7388-1625>, ^c <https://orcid.org/0000-0001-7362-5042>,

^d <https://orcid.org/0000-0002-4816-0930>, ^e <https://orcid.org/0000-0003-4569-9508>

Статья поступила 26.01.2022, принята 31.01.2022

Производители моторного инструмента подразделяют свою продукцию на классы в зависимости от назначения, например, пилы для бытового использования, профессиональные пилы. При этом классификация пил по массе и мощности пильного агрегата проработана не в полной мере. Цель нашего исследования — проанализировать характеристики современных бензомоторных пил и предложить вариант их классификации по массе и мощности, описывающий распределение инструмента по кластерам. Сведения о массе и мощности пильных агрегатов получены на официальных сайтах ведущих производителей — Husqvarna, Jonsered, Makita, Stihl. В первую очередь нас интересовали опыт и практика проектирования инструмента, сложившиеся к настоящему времени и отражающиеся в связях эксплуатационных характеристик. По этой причине разграничения моделей по рынкам, на которых они представлены, не делалось. Критерием отбора являлось предложение модели производителем в принципе. В сумме для анализа использованы характеристики 88 моделей, эти сведения являются общедоступными на декабрь 2021 г. Взаимосвязь массы и мощности описана с использованием аппроксимации данных (метод наименьших квадратов); для выявления кластеров пил по массе и мощности использован метод k-средних. В результате предложен следующий вариант условной классификации современных бензомоторных пил: 1. Легкие бензомоторные пилы; мощность 1,3–2,3 кВт, масса пильного агрегата, ориентировочно, 3,0–5,0 кг; 2. Средние пилы «А»; мощность 2,4–3,5 кВт, масса пильного агрегата, ориентировочно, 5,0–6,0 кг; 3. Средние пилы «В»; мощность 3,5–5,0 кВт, масса пильного агрегата, ориентировочно, 6,0–7,0 кг. 4. Тяжелые пилы; мощность 4,8–5,7 кВт, масса пильного агрегата, ориентировочно, 7,0–8,0 кг. 5. Особо тяжелые пилы; мощность 4,8–5,7 кВт, масса пильного агрегата более 8,0 кг.

Ключевые слова: мощность пильного агрегата; масса пильного агрегата; аппроксимация данных; кластеризация данных.

A variant of classification of modern gas chainsaws

D.V. Otmakhov^{1a}, V.G. Alekseenko^{1b}, S.I. Revyako^{2c}, A.L. Grebenyuk^{3d}, E.G. Khitrov^{4e}

¹ Pacific National University; 136, Tikhookeanskaya St., Khabarovsk, Russia

² NovoCherkassk Engineering and Reclamation Institute of Don State Agrarian University; 111, Pushkinskaya St., NovoCherkassk, Russia

³ Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

⁴ St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov; 5, Institutsky Per., St. Petersburg, Russia

^a 003290@pnu.edu.ru, ^b 002509@pnu.edu.ru, ^c revyako77@mail.ru, ^d as17vl@list.ru, ^e yegorkhitrov@gmail.com

^a <https://orcid.org/0000-0002-9019-494X>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-7388-1625>, ^c <https://orcid.org/0000-0001-7362-5042>,

^d <https://orcid.org/0000-0002-4816-0930>, ^e <https://orcid.org/0000-0003-4569-9508>

Received 26.01.2022, accepted 31.01.2022

Manufacturers of power tools divide their products into classes depending on the purpose (for example, chainsaws for household use, professional chainsaws etc.), while the classification of saws by their weight and power of the saw unit is not still completed. The purpose of the study is to analyze the characteristics of modern gasoline-powered chainsaws and to propose a variant of their classification by the weight and power, describing the distribution of the models by clusters. Information about the weight and power of the saw units is obtained from the official websites of the leading manufacturers such as Husqvarna, Jonsered, Makita, Stihl. The experience and practice of the chainsaws design are of great interest, due to the fact that they have been developed to date and used in the relationships of the saws' characteristics. For this reason, no distinction is made between the models according to the markets in which they are presented. The selection criterion is the proposal of the model by the manufacturer in principle. In total, the characteristics of 88 models are used for the analysis, this information is publicly available as of December 2021. The relationship between the weight and the power is described using data approximation (least squares method); the k-means method was used to identify the chainsaw clusters by the mass and the power. As a result, the following version of classification of modern gasoline-powered saws has been proposed: 1. Light gasoline-powered saws; the power ranges between 1.3 - 2.3 kW, weight of the saw unit is approximately 3.0 - 5.0 kg; 2. Medium chainsaws "A"; the power ranges between 2.4 - 3.5 kW, weight of the saw unit is approximately 5.0 - 6.0 kg; 3. Medium chain-

saws "B"; the power ranges between 3.5 - 5.0 kW, weight of the saw unit is approximately 6.0 - 7.0 kg. 4. Heavy chainsaws; the power ranges between 4.8 - 5.7 kW, weight of the saw unit is approximately 7.0 - 8.0 kg. 5. Extra heavy chainsaws; the power ranges between 4.8 - 5.7 kW, the weight of the saw unit is more than 8.0 kg.

Keywords: saw unit power; saw unit weight; data approximation; data clustering.

Введение. Несмотря на развитие механизированных технологий, бензодвигательные пилы широко используются при заготовке древесины [1; 2]. Подбор пилы, характеристики которой адекватны природно-производственным условиям, важен как с точки зрения производительности [1–4], так и эргономики труда [5–7]. Производители моторного инструмента подразделяют свою продукцию на классы в зависимости от назначения (например, пилы для бытового использования, профессиональные пилы), при этом классификация пил по массе и мощности пильного агрегата проработана не в полной мере [8–10]. Цель нашего исследования — проанализировать характеристики современных бензодвигательных пил и предложить вариант их классификации по массе и мощности, описывающий распределение инструмента по кластерам.

Материалы и методы. Сведения о массе и мощности пильных агрегатов получены на официальных сайтах ведущих производителей — Husqvarna, Jonsered, Makita, Stihl [11–14]. В первую очередь нас интересовали опыт и практика проектирования инструмента, сложившиеся к настоящему времени и отражающиеся в связях эксплуатационных характеристик. По этой причине разграничения моделей по рынкам, на которых они представлены, не делалось. Критерием отбора являлось предложение модели производителем в принципе. В сумме для анализа использованы характеристики 88-ми моделей, эти сведения являются общедоступными на декабрь 2021 г. (в конце статьи приводится список моделей пил). Взаимосвязь массы и мощности описана с использованием аппроксимации данных (метод наименьших квадратов) [15–17]; для выявления кластеров пил по массе и мощности использован метод k -средних [17; 18].

Алгоритм метода k -средних реализован в среде MS-Excel. Решалась задача оптимального разбиения моделей машин на кластеры по условию минимума ошибки разбиения [18]:

$$\varepsilon = \sum_{q=1}^k \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left(\frac{w_j |x_{j,i} - c_{j,q}|}{R_j} \right) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где c — координата центра тяжести кластера; R — размах выборки; w — вес признака; k — число кластеров, m — число признаков, по которым проводится кластеризация; n — размер выборки (индекс i соответствует номеру модели машины); j — номер признака, по которому проводится группировка; q — номер кластера.

Порядок реализации алгоритма хорошо известен:

1. Принимается число кластеров данных k , и произвольно задаются их центры тяжести.

2. Каждую модель следует отнести к определенному кластеру с ближайшим центром, т. е. с минимальным расстоянием по формуле (1).

3. В результате разделения моделей по кластерам вычисляются их новые центры (координаты соответствуют средним арифметическим значениям признаков в q -м кластере).

4. Шаги 2, 3 повторяются до тех пор, пока центры кластеров не стабилизируются.

Результаты исследования и их обсуждение. Сведения о массе M и мощности N пильных агрегатов сопоставлены на рис. 1.

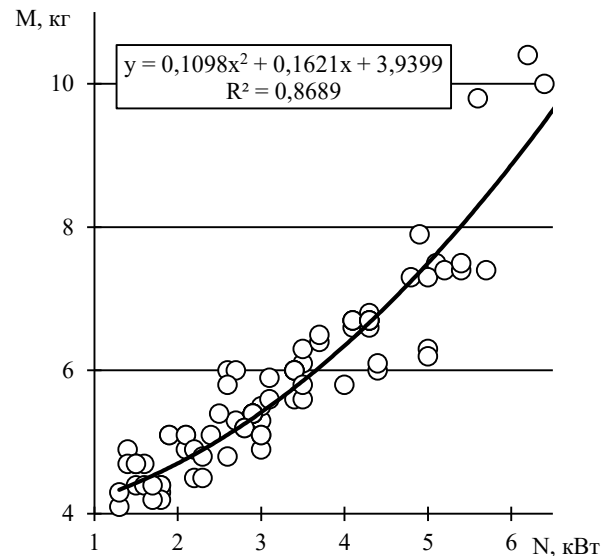


Рис. 1. Сопоставление массы и мощности пильных агрегатов современных бензодвигательных пил

В результате аппроксимации данных получена приближенная зависимость массы от мощности:

$$M = 0,1098 N^2 + 0,1621 N + 3,9399 \quad (2)$$

с высоким коэффициентом детерминации $R^2 = 0,8689$.

Формула (2) может использоваться при оценке эргономики условий труда, поскольку подбор пилы осуществляется с учетом требуемой мощности, с которой, как показывает (2), тесно связана масса инструмента.

Обработав те же самые данные, можем получить приближенную формулу для оценки N по M :

$$N = -0,0758 M^2 + 1,9041 M - 5,1393, \quad (3)$$

$R^2 = 0,8736$.

В таблице приведены сведения о вариативности признаков массы M и мощности N пильного агрегата в пяти кластерах объектов, выявленных по методу k -средних.

Число кластеров определено эвристически, с учетом визуального характера распределения данных. При реализации алгоритма веса признаков w одинаковы, $w = 1$.

Таблица. Основные сведения о вариативности характеристик бензомоторных пил в кластерах

Кластер	n	N, кВт			M, кг		
		AV	min	max	AV	min	max
1	29	1,76	1,3	2,3	4,5	3,4	5,1
2	29	2,94	2,4	3,5	5,49	4,8	6
3	19	4,04	3,5	5	6,59	5,8	6,8
4	8	5,13	4,8	5,7	7,53	7,3	7,9
5	3	6,2	5,6	6,4	10,4	9,8	10,4

В таблице обозначено: n — число объектов в кластере, AV — среднее арифметическое, min — минимальное значение, max — максимальное значение.

Значения N , M в центрах тяжести кластеров связаны практически функционально точно (рис. 2):

$$M = 0,2209 N^2 - 0,5121 N + 4,8574, \quad (4)$$

$$R^2 = 0,9792,$$

$$N = -0,1095 M^2 + 2,3974 M - 6,8682, \quad (5)$$

$$R^2 = 0,9960.$$

Интервалы варьирования признаков в кластерах, хотя и частично пересекаются, но все же, границы кластеров выражены. Отмеченное свидетельствует в пользу выбора $k = 5$.

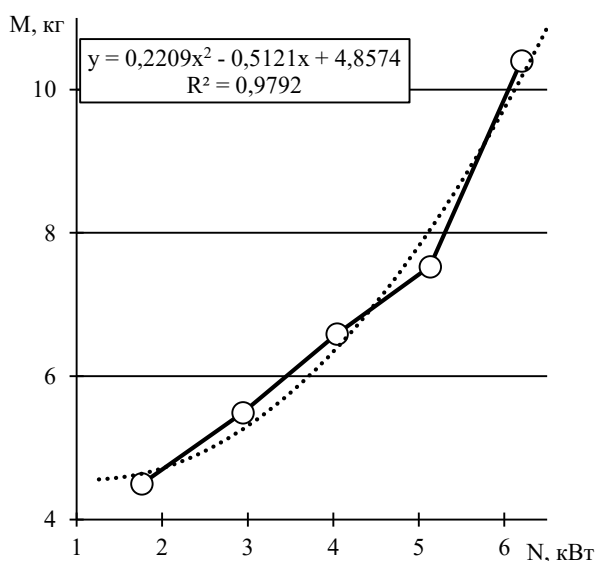


Рис. 2. Сопоставление массы и мощности пильного агрегата в центрах тяжести кластеров

Основываясь на результатах кластеризации данных, можем предложить следующий вариант условной классификации современных бензомоторных пил:

1. Легкие бензомоторные пилы; мощность 1,3–2,3 кВт, масса пильного агрегата, ориентировочно, 3,0–5,0 кг. Представители: *Husqvarna* 120, 130, 135, 240, T435, 439, 135 Mark II, 435, T540 XP® II, 440, 445, 543 XP®, *Jonsered* CS 2234, CS 2238 S, CS 2240, CS 2240, CS 2240 S, CS 2250, CS 2250 S II, CS 2245, CS 2245 S, *Makita* EA3200SRBB, EA3201SRBB, EA3601FRDB, EA3500SRDB, EA4300FRDB, *Stihl* MS 201 C-M, MS 241 C-M, MS 241 C-M VW.

2. Средние пилы «А»; мощность 2,4–3,5 кВт, масса пильного агрегата, ориентировочно, 5,0–6,0 кг. Представители: *Husqvarna* 450 Rancher, 455 Rancher, 460 Rancher, 545 Mark II, 550 XP® Mark II, 550 XP® G Mark II, 555, *Jonsered* CS 2255, CS 2253 WH, CS 2258, DCS5121REG, *Makita* EA5000PRFL, EA5001PREG, EA5001PREL, EA5000PREG, EA5000PREL, EA5000PRGG, EA5600FREG, EA6100PREG, EA6100PREL, EA6100PRGG, *Stihl* MS 260, MS 261, MS 261 C-M, MS 261 C-BM, MS 261 C-M VW, MS 361, MS 362 C-M, MS 362 C-M VW.

3. Средние пилы «В»; мощность 3,5–5,0 кВт, масса пильного агрегата, ориентировочно, 6,0–7,0 кг. Представители: *Husqvarna* 562 XP® (2020), 562 XP® G, 365, 565, 372 XP® X-TORQ, 572 XP®, 572 XP® G, *Makita* EA5600FRGG, EA7301PRZ, EA7300PRZ, EA7900PRZ2, EA7900PRZ1, EA7901PRZ1, EA7900PRZ, *Stihl* MS 400 C-M, MS 462 C-M, MS 462 C-M VW, MS 500i W, MS 500i.

4. Тяжелые пилы; мощность 4,8–5,7 кВт, масса пильного агрегата, ориентировочно, 7,0–8,0 кг. Представители: *Husqvarna* 390 XP®, 395 XP®, 585, 592 XP®, *Stihl* MS 651, MS 660, MS 661 C-M, MS 661 C-M W.

5. Особо тяжелые пилы; мощность 4,8–5,7 кВт, масса пильного агрегата более 8,0 кг. Представители: *Husqvarna* 3120 XP®, *Stihl* MS 780, MS 880.

Отметим перспективные, на наш взгляд, направления дальнейшего использования полученных результатов:

1. Полученные статистические данные, актуальные на конец 2021 г., при сопоставлении со сведениями, собранными ранее, позволят более полно раскрыть тенденции изменения характеристик бензомоторных пил, связанные с развитием практики проектирования и производства моторного инструмента (например, изменение энергонасыщенности [8; 10; 19; 20] и металлоемкости).

2. Выявленные связи мощности и массы пильного агрегата могут использоваться при оценке эргономичности условий труда с учетом природно-производственных факторов.

3. Различия массы и мощности, характерные для предлагаемых классов, свидетельствуют о целесообразности дальнейшего уточнения методик оценки производительности операций, связанных с использованием ручного моторного инструмента.

Авторский вклад. Д.В. Отмахов — сбор и анализ данных (20 %), В.Г. Алексеенко — сбор и анализ данных (20 %), С.И. Ревяко — сбор и анализ данных (20 %), А.Л. Гребенюк — сбор и анализ данных (20 %), Е.Г. Хитров — идея исследования и общее руководство (20 %).

Литература

1. Григорьев И.В., Винокуров С.Л. Сравнение вариантов систем машин для малообъемных лесозаготовок // Вестн. АГАТУ. 2021. № 3 (3). С. 51-62.
2. Швецова В.В. Особенности механизированной заготовки древесины в современных условиях // Вестн. АГАТУ. 2021. № 2 (2). С. 59-66.
3. Воронов Р.В., Марков О.Б., Григорьев И.В., Давтян А.Б. Математическая модель модульного принципа подбора системы машин для создания и эксплуатации лесных плантаций // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2019. № 5 (371). С. 125-134.
4. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Чураков А.А. Эффективные технологии и системы машин для малообъемных заготовок древесины // Энергия: экономика, техника, экология. 2018. № 2. С. 61-66.
5. Kaliniewicz Z., Maleszewski Ł., Krzysiak Z. Influence of saw chain type and wood species on the kickback angle of a chainsaw // Technical Sciences. 2018. V. 4. P. 323-334.
6. Matache M., Munteanu M., Dumitru D., Epure M. Evaluation of hand transmitted chainsaw vibrations during wood cutting // E3S Web of Conferences. #180. 03013. DOI: 10.1051/e3sconf/202018003013.
7. Коршак А.В., Бирман А.Р., Хитров Е.Г., Кортка А.А., Селимов А.М. К вопросу повышения надежности оборудования лесоперерабатывающего комплекса // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2010. № 191. С. 144-151.
8. Grigorev I., Ivanov V., Gasparian G., Nikiforova A., Khitrov E. Softwood harvesting and processing problem in Russian Federation // 14th International multidisciplinary scientific geoconference sgem 2014. Sofia, 2014. P. 443-446.
9. Григорьев И.В., Куницкая О.А., Рудов С.Е., Давтян А.Б. Пути повышения эффективности работы лесных машин // Энергия: экономика, техника, экология. 2020. № 1. С. 55-63.
10. Григорьев И.В., Хитров Е.Г., Власов Ю.Н., Иванов В.А., Жданович В.И. О необходимости дополнительных исследований энергоёмкости процесса поперечного пиления древесины // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 4 (20). С. 143-147.
11. Официальный сайт компании Jonsered. URL: <https://www.jonsered.com/us/products/chainsaws/> (дата обращения: 7.12.2021).
12. Официальный сайт компании Husqvarna. URL: <https://www.husqvarna.com/us/chainsaws/> (дата обращения: 7.12.2021).
13. Официальный сайт компании Makita. URL: <https://www.makitatools.com/products/tools/gas/outdoor-power-equipment/chainsaws#> (дата обращения: 7.12.2021).
14. Официальный сайт компании Stihl. URL: <https://www.stihl.com/STIHL-power-tools-A-great-range/ Chainsaws/ 0131/ Petrol-chainsaws-for-forestry.aspx> (дата обращения: 7.12.2021).
15. Liengme B.V. A Guide to Microsoft Excel 2013 for Scientists and Engineers, Chapter 4 - Using Functions, Editor(s): Bernard V. Liengme // Academic Press, 2016. P. 49-74. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802817-9.00004-0>. (дата обращения: 20.12.2021).
16. Liengme B.V. A Guide to Microsoft Excel 2013 for Scientists and Engineers, Chapter 8 - Regression Analysis, Editor(s): Bernard V. Liengme // Academic Press, 2016. P. 157-179. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802817-9.00008-8>. (дата обращения: 20.12.2021).
17. Liengme B.V. A Guide to Microsoft Excel 2013 for Scientists and Engineers, Chapter 16 - Statistics for Experimenters, Editor(s): Bernard V. Liengme // Academic Press, 2016. P. 321-345. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802817-9.00016-7>. (дата обращения: 20.12.2021).
18. Aggarwal Ch., Reddy Ch. Data clustering. Algorithms and Applications // Chapman and Hall, 2013. 652 p.
19. Григорьев И.В., Хитров Е.Г., Никифорова А.И., Григорьева О.И., Куницкая О.А. Определение энергоёмкости продуктов лесопользования в рамках методики оценки экологической эффективности лесопользования // Вестн. Тамбовского ун-та. Сер. Естественные и технические науки. 2014. Т. 19. № 5. С. 1499-1502.
20. Grigorev I., Ivanov V., Khitrov E., Kalistratov A., Bozhbov V. New approach for forest production stocktaking based on energy cost // 14th International multidisciplinary scientific geoconference sgem 2014. Sofia, 2014. P. 407-414.

References

1. Grigor'ev I.V., Vinokurov S.L. Comparison of machine system options for small volume harvesting // Vestnik ASAU. 2021. № 3 (3). P. 51-62.
2. SHvecova V.V. Features of mechanized timber harvesting in modern conditions // Vestnik ASAU. 2021. № 2 (2). P. 59-66.
3. Voronov R.V., Markov O.B., Grigor'ev I.V., Davtyan A.B. Mathematical model of the modular principle of the selection of a system of machines for the creation and operation of forest plantations // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2019. № 5 (371). P. 125-134.
4. Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I., CHurakov A.A. Efficient technologies and machine systems for small-volume timber harvesting // Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya. 2018. № 2. P. 61-66.
5. Kaliniewicz Z., Maleszewski Ł., Krzysiak Z. Influence of saw chain type and wood species on the kickback angle of a chainsaw // Technical Sciences. 2018. V. 4. P. 323-334.
6. Matache M., Munteanu M., Dumitru D., Epure M. Evaluation of hand transmitted chainsaw vibrations during woodcutting // E3S Web of Conferences. #180. 03013. DOI: 10.1051/e3sconf/202018003013.
7. Korshak A.V., Birman A.R., Hitrov E.G., Korkka A.A., Selimov A.M. On the issue of increasing the reliability of the equipment of the timber processing complex // Izvestia SPbLTA. 2010. № 191. P. 144-151.
8. Grigorev I., Ivanov V., Gasparian G., Nikiforova A., Khitrov E. Softwood harvesting and processing problem in Russian Federation // 14th International multidisciplinary scientific geoconference sgem 2014. Sofia, 2014. P. 443-446.
9. Grigor'ev I.V., Kunickaya O.A., Rudov S.E., Davtyan A.B. Ways to improve the efficiency of forest machines // Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya. 2020. № 1. P. 55-63.
10. Grigor'ev I.V., Hitrov E.G., Vlasov YU.N., Ivanov V.A., ZHdanovich V.I. On the need for additional research on the energy intensity of the process of cross-cutting wood // Systems. Methods. Technologies. 2013. № 4 (20). P. 143-147.
11. Jonsered company official website. URL: <https://www.jonsered.com/us/products/chainsaws/> (data obrashcheniya: 7.12.2021).
12. Husqvarna company official website. URL: <https://www.husqvarna.com/us/chainsaws/> (data obrashcheniya: 7.12.2021).
13. Makita company official website. URL: <https://www.makitatools.com/products/tools/gas/outdoor-power-equipment/chainsaws#> (data obrashcheniya: 7.12.2021).
14. Stihl company official website. URL: <https://www.stihl.com/STIHL-power-tools-A-great-range/ Chainsaws/ 0131/Petrol-chainsaws-for-forestry.aspx> (data obrashcheniya: 7.12.2021).
15. Liengme B.V. A Guide to Microsoft Excel 2013 for Scientists and Engineers, Chapter 4 - Using Functions, Editor(s): Bernard V. Liengme // Academic Press, 2016. P. 49-74. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802817-9.00004-0>. (data obrashcheniya: 20.12.2021).

16. Liengme B.V. A Guide to Microsoft Excel 2013 for Scientists and Engineers, Chapter 8 - Regression Analysis, Editor(s): Bernard V. Liengme // Academic Press, 2016. P. 157-179. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802817-9.00008-8>. (data obrashcheniya: 20.12.2021).
17. Liengme B.V. A Guide to Microsoft Excel 2013 for Scientists and Engineers, Chapter 16 - Statistics for Experimenters, Editor(s): Bernard V. Liengme // Academic Press, 2016. P. 321-345. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802817-9.00016-7>. (data obrashcheniya: 20.12.2021).
18. Aggarwal Ch., Reddy Ch. Data clustering. Algorithms and Applications // Chapman and Hall, 2013. 652 p.
19. Grigor'ev I.V., Hitrov E.G., Nikiforova A.I., Grigor'eva O.I., Kunickaya O.A. Determination of the energy intensity of forest products within the framework of the methodology for assessing the ecological efficiency of forest use // Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences. 2014. V. 19. № 5. P. 1499-1502.
20. Grigorev I., Ivanov V., Khitrov E., Kalistratov A., Bozhbov V. New approach for forest production stocktaking based on energy cost // 14th International multidisciplinary scientific geoconference sgem 2014. Sofia, 2014. P. 407-414.