

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ

### COMPARATIVE ANALYSIS OF ELECTRIC MOTORS FOR OPERATION IN AGGRESSIVE ENVIRONMENTS

**Шамков Е.Ю.**, студент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

**Shamkov E.Yu.**, Student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

**Кабанцов В.Д.**, студент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

**Kabantsov V.D.**, Student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

**Самодуров И.А.**, студент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

**Samodurov I.A.**, Student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

**Яцута Р.Д.**, студент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

**Yatsuta R.D.**, Student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

**Камалова Н.С.**, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

**Kamalova N.S.**, PhD in Physics and Mathematics, Docent, Associate professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

**Аннотация.** В статье на основании обзора существующих конструктивных данных электродвигателей разных типов методом многокритериального сравнения альтернатив проводится сравнительный анализ по таким критериям, как масса, стоимость, возможность эксплуатации в агрессивной среде. В рамках такого подхода выяснилось, что оптимальным вариантом является двигатель АИМЛ100L4.

**Ключевые слова:** системный анализ, многокритериальный метод сравнения, эксплуатация в агрессивной среде, электродвигатель.

**Abstract.** In the article, based on a review of existing design data for electric motors of different types, a comparative analysis is carried out using the method of multi-criteria comparison of alternatives according to such criteria as weight, cost, and the possibility of operation in an aggressive environment. Within the framework of this approach, it was revealed that the optimal option is the AIML100L4 engine.

**Keywords:** systems analysis, multi-criteria comparison method, operation in an aggressive environment, electric motor.

В настоящий момент все большую значимость приобретают вопросы экологической безопасности как планеты в целом, так и отдельных её регионов. Поэтому сохранение и грамотное использование лесной зоны является актуальной проблемой для устойчивого и комфортного существования человечества. Одной из задач лесопромышленного комплекса является развитие технического оборудования, в частности расширение использования различных типов двигателей. Все чаще в повседневной жизни тепловые двигатели уступают место электродвигателям. В результате их активного внедрения снижается вред, наносимый деятельностью человека природе, нормализуется экологическая обстановка в мегаполисах, увеличивается комфортность жизни граждан разных стран. Поэтому актуальной становится задача оценки возможности применения их в области лесного хозяйства. Естественно, обоснование методик для оценивания должно формироваться в рамках комплексного подхода с учетом многоаспектности поставленной проблемы и, следовательно, с применением современных методов системного анализа [1].

Цель данной работы – на примере решения задачи сравнения наиболее популярных типов электродвигателей, продемонстрировать возможности применения методов многокритериального анализа для обоснованного выбора оптимального варианта двигателя в рамках системного подхода.

Условия работы электродвигателей при эксплуатации в лесопромышленном комплексе характеризуются повышенной влажностью и резкими перепадами температур, что существенно влияет на их коррозионную стойкость и электрическую прочность изоляции. В процессе длительной эксплуатации увеличивается частота возникновения технологических перегрузок, неполнофазных режимов, расширяется диапазон колебаний питающего напряжения. Все это происходит в условиях недостаточного уровня оснащения двигателей защитными устройствами и технического обслуживания. Кроме того, высокая запыленность в сочетании с повышенным уровнем влажности окружающей среды приводит к забиванию вентиляционных отверстий в кожухе и межреберных каналов корпуса, что негативно влияет на охлаждение двигателя [2-5] и, следовательно, на его надежность. Влияние условий эксплуатации на работу двигателей часто определяется такими факторами, как специфичность окружающей среды, оцениваемая по продолжительности работы и характеру загрузки по мощности в условиях мониторинга, а также величиной диапазона колебаний напряжения и уровнем технического обслуживания. Однако, при принятии решения о возможности массового применения электродвигателей гораздо чаще основываются на вербальном подходе по категориям качественной оценки агрессивности окружающей среды при их эксплуатации. Для учета рентабельности использования электродвигателя в сравнении применялся такой критерий как стоимость, а удобство пользователей оценивалось по его массе. Таким образом, в качестве критериев для сравнения конструктивных данных двигателей были выбраны масса, стоимость и пригодность к эксплуатации в агрессивной среде.

Как известно, электрический двигатель (электромеханический преобразователь), преобразует электрическую энергию в механическую, в основе его принципа действия лежит взаимодействие поля постоянных магнитов на роторе и вращающегося магнитного поля обмотки статора [2-5]. В качестве материалов для постоянных магнитов используют огромное количество сталей, сплавов и их композиций, отличающихся по магнитным свойствам и

технологии производства. Не вдаваясь в подробности моделирования рабочих процессов, для сравнения были выбраны четыре модификации асинхронных трехфазных двигателей общепромышленного назначения: АИР100L4 с чугунным или алюминиевым корпусом, выпускаемым Российским производителем АДМ100L4 и взрывозащищенный АИМЛ100L4.

Эффективность приведенных конструкций определялась по степеням сравнения. Для принятия решения была введена прогрессивная шкала отношений по выбранным критериям. Сравнение критериев проводилось вербально на основании опроса пользователей. Коэффициенты их сравнительной значимости  $b_{ij}$  определялись по прогрессивной шкале отношений (3:5:7). Поскольку была поставлена задача оценить перспективы использования электродвигателя в лесопромышленном комплексе, то самым значимым был выбран критерий пригодности эксплуатации в агрессивной среде, затем масса и, наконец, стоимость (см. круговую диаграмму на рисунке 1). С выбранными коэффициентами рассчитывался вектор матрицы срезнения  $\rho_i$  по формуле [6-8]:

$$\rho_i = \sqrt[k]{\prod_{l=1}^k b_{il}}, \quad (1)$$

где  $k$  – количество системно обоснованных критериев (в рассматриваемом случае  $k = 3$ ).

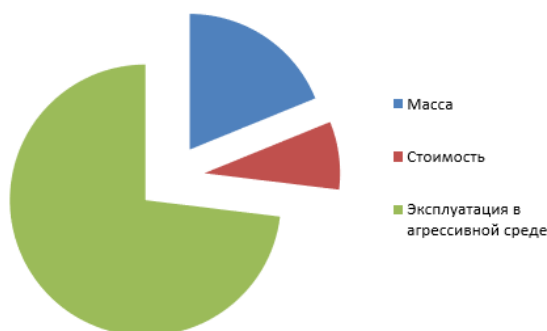


Рисунок 1 – Результат сравнения значимости критериев выбора

Затем на основании собранной по отзывам пользователей информации с учетом выявленных достоинств и недостатков рассматриваемых модификаций электродвигателей (альтернатив) по прогрессивной шкале формировались коэффициенты попарного сравнения альтернатив  $a_{ij}$  по каждому критерию отдельно. По последним составлялась матрица:

$$\omega_{ij} = \sqrt[n]{\prod_{m=1}^n a_{ijm}}, \quad (2)$$

где  $n$  – число сравниваемых двигателей (в данном случае  $n = 4$ );  $i$  – порядковый номер критерия сравнения;  $j$  – порядковый номер модификации. Для нормировки использовалось соотношение:

$$\omega_{ijn} = \frac{\omega_{ij}}{\sum_{j=1}^n \omega_{ij}}. \quad (3)$$

Анализ осуществлялся по индикатору сравнения для каждой модификации двигателя:

$$\Omega_j = \sum_i \rho_i \omega_{ijn} . \quad (4)$$

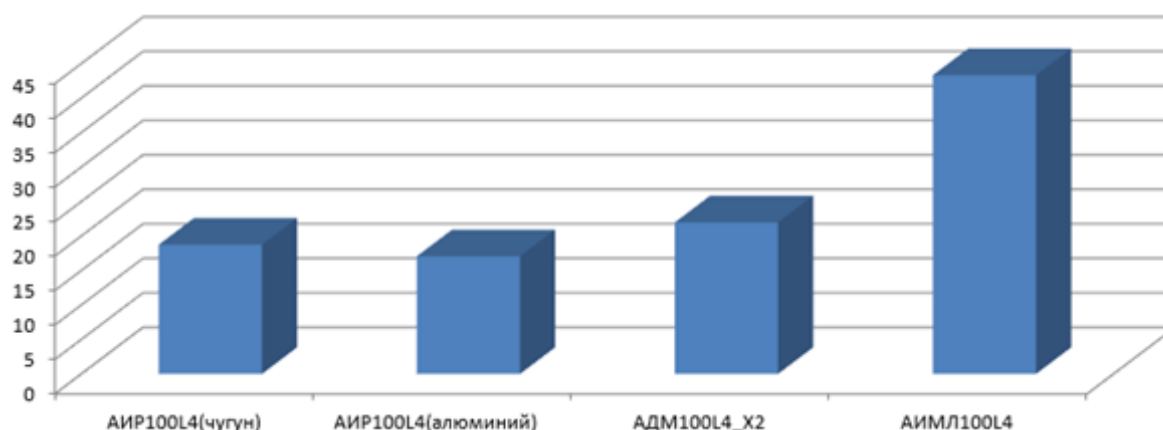


Рисунок 2 – Результат сравнения модификаций асинхронных трехфазных электродвигателей

В результате сравнения выяснилось, что для выбранных критериев с учетом агрессивности окружающей среды при эксплуатации в лесопромышленном комплексе наиболее перспективным является взрывозащищенный двигатель АИМЛ100L4 (см. Рис. 2).

В заключение хотелось бы отметить, что применение многокритериального метода сравнения конструктивной схемы в технологиях поиска решения является удобным обоснованием выбора, поскольку позволяет использовать данные опросов наравне с техническими описаниями без особой математической подготовки. При этом критерии сравнения могут быть представлены в виде качественных категорий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теоретические основы системного анализа / В.И. Новосельцев, Б.В. Тарасов, В.К. Голиков, Б.Е.Демин; под ред. В.И. Новосельцева. – Москва: Майор, 2006. – 592 с.
2. Анучин А.С. Системы управления электроприводов. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2015. – 373 с.
3. Веренич, И.А. Экологические и энергосберегающие аспекты при проектировании систем гидроприводов машин / И.А. Веренич, М.А. Тини // Наука и техника. – 2006. – №3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-i-energoberegayuschie-aspekty-pri-proektirovanii-sistem-gidroprivodov-mashin> (дата обращения: 02.06.2025).
4. Применение электрического двигателя с постоянными магнитами в качестве силовой установки беспилотного летательного аппарата / Е.А. Вяткина, А.Г. Люtareвич, Е.А. Пугачева, В.В. Тевс // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 12-2. – С. 228-232. – URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=12024> (дата обращения: 02.06.2025).
5. Елизаров, В.В. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором / В.В. Елизаров // Форум молодых ученых. – 2017. – №12 (16). – URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/asinhronnyy-dvigatel-s-korotkozamknutym-rotorom> (дата обращения: 02.06.2025).

6. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати; пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. – Москва: Радио и связь, 1993. – 278 с.

7. Системный подход к проблеме обоснования модернизации лесозаготовительных машин / П.И. Попиков, Н.Ю. Евсикова, Н.С. Камалова, В.С. Полянин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – № 2, ч. 2 (13-2). – С. 296-300.

8. Кузнецов, Д.С. Применение метода анализа иерархий для обоснования выбора наиболее эффективного корчевателя / Д.С. Кузнецов, Е.В. Поздняков, Н.Ю. Евсикова // Воронежский научно-технический вестник. – 2020. – Т. 1, № 1 (26). – С. 91-95.

## REFERENCES

1. Theoretical foundations of system analysis / V.I. Novosel'tsev, B.V. Tarasov, V.K. Golikov, B.E. Demin; edited by V.I. Novosel'tsev. – Moscow: Mayor, 2006. – 592 p.

2. Anuchin A.S. Electric drive control systems. – Moscow: MPEI Publishing House, 2015. – 373 p.

3. Verenich, I.A. Environmental and energy-saving aspects in the design of hydraulic drive systems of machines / I.A. Verenich, M.A. Tini // Science and Technology. – 2006. – No. 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskie-i-energoberegayuschie-aspekty-pri-proektirovanii-sistem-gidroprivodov-mashin> (date of access: 02.06.2025).

4. Application of an electric motor with permanent magnets as a power plant of an unmanned aerial vehicle / E.A. Vyatkina, A.G. Lyutarevich, E.A. Pugacheva, V.V. Tevs // International Journal of Applied and Fundamental Research. – 2017. – No. 12-2. – P. 228-232. – URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=12024> (date of access: 02.06.2025).

5. Elizarov, V.V. Asynchronous motor with a squirrel-cage rotor / V.V. Elizarov // Forum of young scientists. – 2017. – No. 12 (16). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/asinhronnyy-dvigatel-s-korotkozamknutym-rotorom> (date of access: 02.06.2025).

6. Saati, T. Decision Making. The Analytic Hierarchy Process Method / T. Saati; trans. from English by R.G. Vachnadze. – Moscow: Radio and Communications, 1993. – 278 p.

7. Systems approach to the problem of justifying the modernization of logging machines / P.I. Popikov, N.Yu. Evsikova, N.S. Kamalova, V.S. Polyanin // Current areas of scientific research in the 21st century: theory and practice. – 2015. – No. 2, part 2 (13-2). – P. 296-300.

8. Kuznetsov, D.S. Application of the hierarchy process analysis method to justify the choice of the most effective rooter / D.S. Kuznetsov, E.V. Pozdnyakov, N.Yu. Evsikova // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2020. – Vol. 1, No. 1 (26). – P. 91-95.