D. M. Kahajli, G. S. Jasakov, D. B. Jakovlev
Military-marine academy

MAINTENANCE OF QUALITY OF THE ELECTRIC POWER IN UNIFORM SHIP ELECTROPOWER SYSTEMS IN THE PRESENCE OF POWERFUL STATIC CONVERTERS

Questions of maintenance of quality of the electric power in uniform ship electropower systems in the presence of powerful static semi-conductor converters in electromovement system, including, influences of change of value by frequency of rotation of the rowing electric motor in electromovement system under the frequency law at all steps of transformation of the electric power in uniform ship electropower systems are considered.

Uniform ship electropower systems (EKES), the rowing asynchronous engine (GED), electromovement system (SED), synchronous generators, electric motors (ED), system "AZIPOD", frequency converters, condensers, pulse-width modulation (SHIM), the passive and active filters

УДК 621.311

В. М. Лебедев, Г. С. Ясаков
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

Выбор типа гребного электродвигателя для единых корабельных электроэнергетических систем

Рассматривается совокупность критериев по выбору типа гребного электродвигателя (ГЭД), что является одним из основных вопросов при разработке системы электродвижения подводной лодки (СЭД ПЛ). Задача сравнительной оценки и выбора типа ГЭД для СЭД ПЛ многовариантна и рассматривается в многокритериальной постановке с учетом объективно существующих факторов неопределенности и уровня информационной обеспеченности о показателях качества системы.

Единые корабельные электроэнергетические системы, гребной электродвигатель, метод анализа иерархии, функция желательности Харрингтона, вентильный индукторный двигатель

Анализ научно-технических материалов по состоянию и перспективам развития морского кораблестроения ведущих морских держав показывает, что одной из важнейших задач, решаемых в ближайшей перспективе, является внедрение на кораблях новых видов оружия (лазерного, импульсного, электромагнитного), а также внедрения на авианосцах электромагнитных разгонных и тормозных устройств. Для решения данной задачи корабли проектируются с единой корабельной электроэнергетической системой (ЕКЭС), обеспечивающей как движение корабля, так и электропитание всех корабельных механизмов и систем оружия. Кроме того, применение ЕКЭС позволяет получить ряд преимуществ:

– повышение экономичности (за счет работы генераторов на постоянном режиме максимального КПД);

– повышение эксплуатационной надежности (за счет глубокого перераспределения энергии);

– повышение уровня автоматизации (за счет внедрения цифрового управления ЕКЭС и гребного электродвигателя (ГЭД));

– улучшение маневренности и возможность применения винтов фиксированного шага (за счет регулирования оборотов и направления вращения ГЭД);

– снижение шумности в режимах поиска подводных лодок (за счет исключения редукторных передач);

– бóльшие возможности по гибкости размещения гребной электрической установки (за счет размещения элементов ЕКЭС независимо друг от друга в отсеках корабля);

– возможность создания необитаемых машинных отделений (за счет высокого уровня автоматизации);

– модульность построения ЕКЭС (за счет создания модулей генерирования, распределения электроэнергии и модулей ГЭД однотипных для разных типов кораблей).

Для внедрения ЕКЭС на перспективных кораблях ВМФ, требуется создание нового оборудования. Наиболее рискованным, с точки зрения освоения инновационных технологий, является создание ГЭД большой мощности. В настоящее время предпочтительный тип ГЭД не определен. Для выбора типа ГЭД требуется сравнение различных типов ГЭД по ряду показателей (критериев).

Задача выбора наилучшего по совокупности критериев типа ГЭД относится к многокритериальным задачам системного анализа. В общем виде задача укладывается в следующую схему:

– имеется m сравниваемых между собой технических систем (альтернатив) $ТС_1$, $ТС_2$ ... $ТС_i$ ... $ТС_m$;

– им поставлен в соответствие ряд показателей качества $ПК_1$, $ПК_2$ ... $ПК_j$ ... $ПК_n$, определяющих предпочтительность того или иного объекта;

– необходимо выбрать наилучшую альтернативу из множества или ранжировать альтернативы по степени уменьшения их значимости.

Методы ее решения должны удовлетворять следующим требованиям:

– позволять лицу, принимающему решение (ЛПР), учитывать особенности конкретной ситуации, в которой принимается решение;

– осуществлять выбор заданного числа вариантов, подлежащих оценке;

– осуществлять расположение альтернатив в порядке убывания приоритета;

– иметь наименьшее время выбора лучшего варианта;

– быть удобными для пользователя.

Существует много методов решения многокритериальных задач, в каждом из которых информация о предпочтениях используется по-разному. В настоящее время уже трудно подсчитать общее число работ, посвященных таким методам. Краткое рассмотрение известных методов позволяет понять, что каждый из них обладает своими достоинствами и недостатками. Проведенный анализ некоторых известных методов решения такого класса задач: метод функции полезности [1], метод паритета [2], функционально-стоимостный анализ [3]–[5], метод функции желательности Харрингтона [6], метод анализа иерархии (МАИ) [7]–[9] показал, что одним из методов, который целесообразно использовать для решения задачи выбора предпочтительного по совокупности критериев типа ГЭД, является МАИ.

В ходе проведенного анализа научно-технических материалов для выбора предпочтительного типа ГЭД для ЕКЭС определены следующие показатели:

– виброакустические характеристики;

– удельные весовые характеристики;

– удельные габаритные характеристики;

– перегрузочная способность;

– глубина регулирования;

– КПД на номинальных режимах;

– коэффициент мощности;

– стоимость.

На основании маркетинговых исследований, статистических данных и анализа энергетических установок кораблей и судов ведущих морских держав [3], [5], [7] для выполнения сравнительной оценки и выбора определены следующие типы ГЭД:

– асинхронный двигатель (АД);

– синхронный двигатель (СД);

– синхронный двигатель с постоянными магнитами (СДПМ);

– вентильный индукторный двигатель (ВИД).

Каждый из выбранных типов ГЭД обладает своими достоинствами и недостатками. Как правило, специалисты фирм-разработчиков отстаивают свою точку зрения и являются приверженцами своих научных направлений.

На основании статистических данных по находящимся в эксплуатации и предложенным в проработках бюро проектантов кораблей вариантам ГЭД в диапазоне мощностей 1400…3000 кВт и частоте вращения до 300 об/мин, проанализированы основные параметры и характеристики, обеспечивающие интегральные оценки выбранного альтернативного ряда типов ГЭД. Результаты анализа представлены в табл. 1.

В соответствии со стандартной схемой применения МАИ [10] были составлены матрица парных сравнений для показателей (критериев) с точки зрения их влияния на достижение цели и матрицы парных сравнений 4 альтернатив по каждому из критериев. Были определены векторы приоритетов матриц парного сравнения альтернатив по каждому из критериев и вектор приоритетов критериев [7]. В результате иерархического синтеза получен обобщенный вектор приоритетов альтернатив (см. табл. 2). Из этого следует, что наиболее предпочтительны для использования в единых электроэнергетических системах вентильный индукторный двигатель и синхронный

Таблица 1

Критерий	Тип ГЭД			
	АД	СД	СДПМ	ВИД
Виброакустическая характеристика, о. е.	0.55	0.5	0.45	0.45
Удельная масса, кг/кВт	18	18	15	15
Удельный объем, дм^3/кВт	20	22	10	10
КПД на номинальных режимах	0.91	0.96	0.975	0.98
Диапазон регулирования	1:10	1:10	1:10	1:20
Коэффициент мощности	0.91	0.95	0.936	0.90
Перегрузочная способность	2	3	2	2

двигатель с постоянными магнитами. Менее предпочтительными являются синхронный двигатель и асинхронный двигатель.

Ранжирование альтернативного ряда типов ГЭД дает рейтинговую оценку, представленную в табл. 3.

Таблица 2

АД	СД	СДПМ	ВИД
0.11	0.12	0.22	0.23

Таблица 3

АД	СД	СДПМ	ВИД
4	3	2	1

Проведенная оценка отношений согласованности суждений по уровням иерархии показала, что согласованность удовлетворяет выбору.

Вместе с тем следует отметить, что получение согласованных оценок суждений и иерархии в целом не является окончательным выводом о достоверности полученных результатов, поскольку они получаются на основе суждений эксперта на уровне здравого смысла, а «здравый смысл – по определению Г. В. Гегеля, – является предрассудком эпохи». Для доказательства достоверности полученных результатов необходимо применять общепринятые методы и, прежде всего, основанные на критерии соответствия практике. К таким методам относится метод функции желательности Харрингтона [11].

В соответствии с алгоритмом решения задачи выбора гребного электродвигателя методом функции желательности Харрингтона представляем предполагаемый гребной электродвигатель в интересах ЕКЭС (табл. 4).

Таблица 4

Показатель ГЭД	ГЭД
Виброакустическая характеристика, о. е.	0.45
Удельная масса, кг/кВт	10
Удельный объем, дм^3/кВт	10
Перегрузочная способность	2
Диапазон регулирования	10
Коэффициент мощности	0.93
Стоимость	0.50
КПД на номинальных режимах, %	96

Обобщенная функция желательности выбора предпочтительного типа ГЭД (по данным табл. 1 и 4) представлена в табл. 5.

Таблица 5

АД	СД	СДПМ	ВИД
0.64	0.72	0.83	0.84

Ранжирование альтернативного ряда ГЭД методом функции желательности Харрингтона представлено в табл. 6.

Таблица 6

АД	СД	СДПМ	ВИД
4	3	2	1

Таким образом, как и при решении задачи выбора предпочтительного типа ГЭД для ЕКЭС методом МАИ выбранным желаемым характеристикам наилучшим образом соответствуют вентильный индукторный двигатель и синхронный двигатель с постоянными магнитами.

Сравнение результатов, полученных при решении задачи выбора предпочтительного типа ГЭД для ЕКЭС методом МАИ и методом функции желательности Харрингтона, показало сходимость выбранных предпочтительных вариантов типа ГЭД (табл. 7).

Таблица 7

Показатель	Тип ГЭД			
	АД	СД	СДПМ	ВИД
Значение показателя по табл. 3	0.64	0.72	0.83	0.84
Предпочтение ГЭД по табл. 4	4	3	2	1
Значение показателя по табл. 6	0.11	0.12	0.22	0.23
Предпочтение ГЭД по табл. 7	4	3	2	1

За рубежом накоплен большой опыт разработки и эксплуатации машин переменного тока большой мощности, входящих в состав системы электродвижения. В отечественной промышленности в этих вопросах имеется существенное отставание, поэтому теоретические исследования, к сожалению, расходятся с возможностями отече-

ственной промышленности. Окончательно выбирать типа электродвигателя для создания ГЭД большой мощности следует по результатам испытаний макетных образцов.

Выводы:

1. Одним из основных вопросов при внедрении ЕКЭС на перспективных кораблях ВМФ является выбор предпочтительного типа ГЭД по совокупности критериев, т. е. решение многокритериальной задачи выбора.

2. В результате решения задачи выбора предпочтительного для ЕКЭС по совокупности критериев варианта ГЭД методом МАИ получен обобщенный вектор приоритетов альтернатив, из которого следует, что наиболее предпочтительными для использования в ЕКЭС являются вентильный индукторный двигатель и синхронный двигатель с постоянными магнитами, и менее предпочтительны синхронный двигатель и асинхронный двигатель.

3. Сравнение результатов, полученных в результате решения задачи выбора типа ГЭД для использования в ЕКЭС методом МАИ и методом функции желательности Харрингтона, показало сходимость предпочтительных вариантов ГЭД. Таким образом, из рассмотренных типов ГЭД наилучшим образом для использования в ЕКЭС соответствуют вентильный индукторный двигатель и синхронный двигатель с постоянными магнитами.

4. Окончательный выбор типа электродвигателя для создания ГЭД большой мощности следует произвести по результатам испытаний макетных образцов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брахман Т. Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. М.: Радио и связь, 1984. 288 с.

2. Волгин Н. С. Исследования операций / ВМА. СПб., 2001.

3. Гребные электрические установки: справ. / под ред. М. С. Туганова. Л.: Судостроение, 1975. 320 с.

4. Захаров И. Г. Теория принятия компромиссных решений при исследовательском проектировании кораблей / 1 ЦНИИ МО РФ. СПб., 2004.

5. Ларичев О. И. Наука и искусство принятия решений. М.: Наука, 1979. 200 с.

6. Лебедев В. М., Ясаков Г. С. Выбор типа гребного электродвигателя как многокритериальная задача // Материалы XVII Всерос. НПК «Актуальные проблемы защиты и безопасности» / ВУНЦ ВМФ «ВМА». СПб., 2014. С. 113–115.

7. Лобов С. А., Привалов А. А., Чемиренко В. П. Принятие решений и планирование развития систем связи ВМФ на основе метода анализа иерархий / ВМА. СПб., 2005. 265 с.

8. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархии / пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

9. Дайджест зарубежной прессы / ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. 2012. Вып. 63. URL: http://www.converteam.com; http://www.nippon.zaidan.info; http://www.heraldscotland.com.

10. Дайджест зарубежной прессы / ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. 2011. Вып. 50 // Military Technology. 2006. Vol. 30, № 10. С. 54.

11. Дайджест зарубежной прессы / ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. 2007. Вып. 41–42 // Sea Technology. 2004. Vol. 15, № 11. С. 83.

V. M. Lebedev, G. S. Jasakov
Military-marine academy

CHOICE OF TYPE OF THE ROWING ELECTRIC MOTOR FOR UNIFORM SHIP ELECTROPOWER SYSTEMS

Set of criteria for choice type of the rowing electric motor (GED) that is one of the basic questions at system engineering of electromovement of the submarine (SED PL) is considered. The problem of a comparative estimation and a choice of type GED for SED PL is multiple and it is considered in criterion to statement with the account of objectively existing factors of uncertainty and level of information security about indicators of quality of system.

Uniform ship electropower systems, the rowing electric motor, a method of the analysis of hierarchy, function of desirability of Harrington, AC converter-fed induction motor