

4. Korejskaya sudostroitel'naya kompaniya budet sozdavat' cifrovye dvojniki korablej [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: [https://logist.today/dnevnik\\_logista/2019-06-18/korej](https://logist.today/dnevnik_logista/2019-06-18/korej). (data obrashcheniya 01.12.2021).
5. Grinek A.V., Timofeev S.P., Kondrat'ev S.I., Hur-tasenko A.V. Sposob kontrolya parametrov geometricheskoj tochnosti sudovyh valoprovodov Morskije intellektual'nye tekhnologii. 2020. № 3-1 (49). S. 90-96.
6. Karakaev A.B. Razrabotka metodologii, metodov i modelej analiza vliyaniya razlichnyh variantov postroeniya struktury i rezhimov podderzhaniya i vosstanovleniya rabotosposobnosti sudovyh elektroenergeticheskikh sistem (CHast'2) [Tekst] /A.B. Karakaev, A.V. Lukanin, E.V. Hekert//Ek-spluatatsiya morskogo transporta. 2016. № 4 (81). S. 85-95.
7. Boran-Keshish'yan A.L. Polozheniya teorii interval'nyh srednih, primenitel'no k analizu nadezhnosti tekhnicheskikh sredstv slozhnyh sistem pri nezavisimyyh po nadezhnosti elementah [tekst] / A.L. Boran-Keshish'yan, E.V. Hekert // Ekspluatatsiya morskogo transporta. 2014. № 1 (73).– S. 38-42.

УДК 621 3.01

DOI: 10.34046/aumsuomt 103/17

## МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ СУДОВЫМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОПТИМИЗАЦИИ

*А.Б. Каракеев, доктор технических наук, профессор  
Е.В. Хекерт, доктор технических наук, профессор  
Д.А. Трапезникова, аспирант*

На сегодняшний день актуализируются вопросы, связанные с решением проблем в судовых электро-энергетических системах. Одними из основных являются вопросы качества электроэнергии и электро-магнитной совместимости объектов технического флота. Актуальность данного исследования также обусловлена и наличием значительного физического износа на объектах технического флота. В рамках представленной статьи акцентируется внимание на повышении качества электроэнергии и оптимизации энергоснабжения моделей судовых электроэнергетических систем посредством оптимизации алгоритмов управления. Таким образом, основной целью данной работы является изучение вопроса актуальности модернизации существующих моделей судовых электроэнергетических систем посредством оптимизации алгоритмов управления. В работе применяются теоретические и эмпирические методы исследования, автором используются научные материалы зарубежного и отечественного авторства. Преимущественная часть работы посвящена именно изучению вопроса повышения надежности работы электроэнергетических систем посредством математического моделирования и обеспечения. Автором также производится анализ алгоритма применения комплексного подхода к анализу систем, алгоритм определения основного отображения системы, алгоритм уточнения структуры и функционала системы и алгоритм процесса оптимизации отображений параметров объектов системы.

**Ключевые слова:** электроэнергетические системы, судно, моделирование, алгоритм, управление, электрооборудование.

## METHODS FOR OPTIMIZING CONTROL ALGORITHMS SHIP ELECTRIC POWER SYSTEMS TO IMPROVE THE QUALITY OF OPTIMIZATION

*A. B. Karakaev, E. V. Khekert, D. A. Trapeznikova*

To date, issues related to solving problems in ship power systems are being updated. One of the main issues is the quality of electricity and electromagnetic compatibility of technical fleet facilities. The relevance of this research is also due to the presence of significant physical wear and tear at the facilities of the technical fleet. Within the framework of the presented article, attention is focused on improving the quality of electricity and optimizing the power supply of models of ship electric power systems through the optimization of control algorithms. Thus, the main purpose of this work is to study the relevance of the modernization of existing models of ship electric power systems by optimizing control algorithms. The paper uses theoretical and empirical research methods, the author uses scientific materials of foreign and domestic authorship. The predominant part of the work is devoted to the study of the issue of improving the reliability of electrical power systems through mathematical modeling and assurance. The author also analyzes the algorithm for applying the complex approach to the analysis of systems, the algorithm for determining the main selection of the system, the algorithm for clarifying the structure and functionality of the system and the algorithm for optimizing the mapping of the parameters of the objects of the system.

**Key words:** electric power systems, ship, modeling, algorithm, control, electrical equipment.

### **Введение**

Одной из наиболее актуальных современных концепций является идея создания единой интеллектуальной электроэнергетической системы (ЭЭС), имеющей активно-адаптивную сеть. В рамках рассмотрения данной проблемы вводится понятие распределённой генерации – совокупности источников тепловой и электрической энергии мощностью не более нескольких тысяч киловатт, максимально приближенных к потребителям, что исключает необходимость создания электрических и тепловых сетей, а значит снижает потери энергии. Этому же вопросу посвящена работа, в которой рассмотрена задача управления региональной ЭЭС. При решении данной задачи производится описание компонентов системы. Определяется основная задача – оптимизация алгоритмов управления. В рамках данной работы предложен вариант её решения, основанный на оценке текущего состояния и прогнозировании. Представлен процесс прогнозирования потребления электроэнергии региональной электроэнергетической системы. В дальнейшем планируется реализация системы посредством языка программирования высокого уровня C# и платформы .Net.

### **Интеллектуальные электроэнергетические системы**

Концепция интеллектуальных ЭЭС представляет их основанными на активно-адаптивных электрических сетях (ЭС), характерными элементами которых являются гибкие системы передачи переменного тока (FACTS) и устройства постоянного тока высокого напряжения [1]. Существуют два основных вида статических преобразователей: тока и напряжения – постоянного тока высокого напряжения (ПТВН). Преимуществами преобразователя напряжения являются: быстрдействие, возможность работать при не симметрии, хорошая электромагнитная совместимость [2].

Интеллектуальные ЭЭС на основе активно-адаптивных ЭС могут быть успешно применены для питания подводных кабелей с высоким емкостным сопротивлением, передачи электроэнергии на большие расстояния, увеличения мощности ЭС, передачи электроэнергии между несинхронизированными ЭЭС, уменьшения сечения проводов и высоты вышек. Однако на данный момент есть актуальная проблема по обеспечению надёжности работы интеллектуальной ЭЭС на основе ПТВН, проблема в моделировании таких систем: моделирование режимов без декомпозиции, а также ограничения во времени, необходимость

точного решения нелинейных систем дифференциальных уравнений высокого порядка, взаимосвязь с внешними интерфейсами [3].

Решение перечисленных проблем может быть найдено путём применения гибридного моделирования, как совокупности аналогового, цифрового и физического методов. В современных исследованиях представляется алгоритм построения модели синхронного гибридного процессора для решения указанной проблемы, со следующими свойствами: универсальность и структурность модели. Также приводятся результаты моделирования, которые показывают применимость данной концепции с единственным ограничением: изменение схемы ЭЭС приводит к тому, что в дальнейшем возникает необходимость конструктивного изменения модели.

В рамках решения задачи снижения затрат на анализ сложных систем необходимо использование следующих методов мета-программирования: разработка, управляемая моделями, а также аспект-ориентированный подход. Практическое использование подхода планируется реализовать при проектировании математического обеспечения интеллектуальных ЭЭС. Для решения данной задачи предложены алгоритмы, основанные на теории категорий [4].

Разрешение проблем обеспечения и повышения надёжности функционирования электроэнергетических систем, оптимизации процессов диагностирования и прогнозирования. К вопросу о применении сложных и наукоёмких методов моделирования ЭЭС можно отнести рассмотрение ряда алгоритмов оптимизации параметров и мест установки устройств управления передачей ЭЭ.

Задачи по оптимизации являются одним из основных направлений исследований в электротехнике в настоящее время, поскольку позволяют получить значительную экономию затрат на проектирование и эксплуатацию ЭЭС.

Сложность математического моделирования в части определения стратегии ограничения нагрузки при оптимальном распределении дефицита мощности в ОЭС обусловлена неоднозначностью решения задач, зависящих от математических моделей, а также стратегий выбора управляющих воздействий. В некоторых из современных исследований предлагается использование нелинейных моделей и активной частотной стратегии. Основная задача в рамках предложенной работы сводится к анализу баланса мощности и энергии. Показана приоритетность исследования баланса мощности.

Определена проблема в решении задачи балансовой надёжности. А именно, ограниченная пропускная способность межсистемных связей [5].

Для формирования основных принципов оптимизации проектирования и технической эксплуатации судовых электроэнергетических систем существует специальная методика. Методика применения комплексного подхода может быть представлена в виде следующего алгоритма (рис. 1).



Рисунок 1 – Алгоритм применения комплексного подхода к анализу систем

Первый этап данного алгоритма включает в себя следующие действия:

1.1 Выбор объекта анализа – определение основного объекта исследования системы, результат функционирования которого является наиболее ценным результатом функционирования всей системы;

1.2 Определение значимых параметров объекта анализа - задание параметров объекта как основного, задание 6 значений для каждого параметра (lowest, min, current, nominal, max, highest);

1.3 Определение основного ценностного отображения - выбор входных и выходных параметров из списка для основного функционального отображения системы [6].

Второй этап алгоритма применения комплексного подхода представляет собой цикл последовательных изменений и дополнений рассматриваемой системы (рис. 2). Второй этап алгоритма применения комплексного подхода представляет собой цикл последовательных изменений и дополнений рассматриваемой системы (рис 2):

2.1. Рассмотрение условий функционирования – определение дополнительных задач, отображений, выполняемых в рамках основного объекта (см. п.1), определение параметров для этих отображений, анализ прочих условий функционирования основного объекта;

2.2. Определение условий получения ресурсов – выбор источников ресурсов отображений;

2.3. Задание значений функций риска для параметров основного объекта. Значения функций риска для неисправности и отказа соответственно определяются по формулам (1), (2):

$$R1 = C1 \times P1(1)$$

$$R2 = (C1 + C2) \times P(2)$$

где, C1 – тяжесть последствий неисправности (значение параметра min >current или current > max);

C2 - тяжесть последствий отказа (значение параметра lowest > current или current > highest); P1, P2 - вероятность неисправно СТИ, ОТКаза соответственно;

2.4. Добавление объектов в структуру системы - при необходимости рас смотрения параметров других объектов, они добавляются в структуру системы;

2.5. Определение ценностных отображений для объектов п. 2.4 аналогично п.1.3;

2.6. См. п. 2.3.



Рисунок 2 – Алгоритм уточнения структуры и функционала системы

Третий этап алгоритма применения комплексного подхода определяет процесс оптимизации (рис. 3).

3.1. Формирование списка системы – завершение структурного анализа:

3.2. Расчёт функций риска объектов – определение суперпозиции значений функций риска параметров каждого объекта;

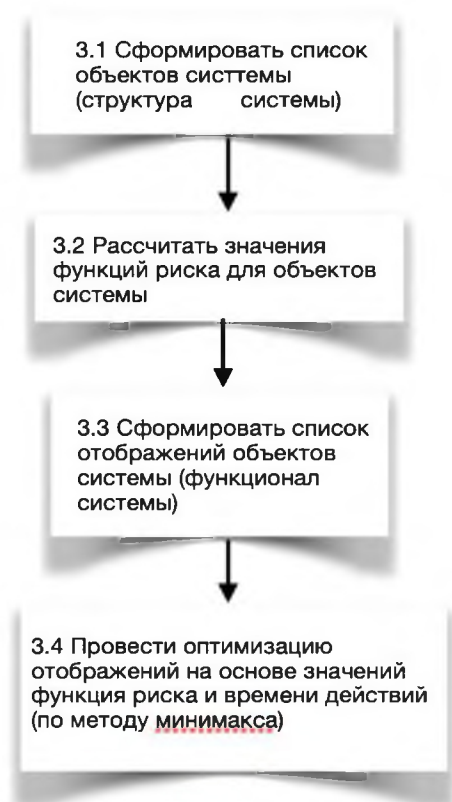


Рисунок 3 – Алгоритм процесса оптимизации отображений параметров объектов системы

### Заключение

Таким образом, в рамках представленной работы был более подробно изучен вопрос, касающийся повышения качества электроэнергии и оптимизации энергоснабжения моделей судовых электроэнергетических систем посредством оптимизации алгоритмов управления. В результате исследования были рассмотрены такие аспекты, как: концепция создания единой интеллектуальной электроэнергетической системы на судне; процесс прогнозирования потребления электроэнергии региональной электроэнергетической системы; актуальность применения гибридного моделирования, как совокупности аналогового, цифрового и физического методов; алгоритм применения комплексного подхода к анализу систем; основные этапы и действия данного алгоритм применения комплексного подхода. В заключение необходимо отметить, что вопрос решения научно-технической задачи для повышения каче-

3.3. Формирование списка отображений системы – завершение функционального анализа системы;

Оптимизация отображений на основе значений функций риска и времени выполнения – проводится по методу минимакса для обеспечения наиболее сложных условий функционирования [7].

ства электроэнергии судовых электроэнергетических систем до сих пор не решён, именно это и вызывает определённые сложности в обнаружении проблемы своевременно.

### Литература

1. Гусев А.С. Гибридная модель вставки постоянного тока / А.С. Гусев, А.О. Сулайманова, Р.А. Уфа, А.С. Васильев, Н.Г. Лозина, О.В. Сулова // Энергия единой сети. – 2016. – №2(25). – С.52-61.
2. Калинин И.М. Концепция создания отечественной системы сквозного проектирования судовых электроэнергетических систем // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2019. – №1(387). – С.61-72.
3. Григорьев А.В., Глеклер Е.А. Компьютерное моделирование и исследование единой электроэнергетической системы в среде Simulink // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2015. – Т.№2(30). – С.185-191
4. Бьрков И.А. Пакет программ Selen для автоматизации создания математических моделей электроэнергетических систем в составе тренажеров // Вестник СПбГУ. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. – 2010. – №2(10). – С.84-99.
5. Панков И.А., Фролов В.Я. Проектирование судовой электроэнергетической системы малого гидрографического судна «Войгач» // Записки Горного института. – 2016. – Т.222 – С.852-857.
6. Савенко А.Е. Математическая модель судового электротехнического комплекса // Вестник ИГЭУ. – 2015. – Вып.5 – С.1-6.
7. Цицикян Г.Н. Результаты развития судовых электроэнергетических систем // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2019. – Т.1. №387 – С.123-130.
8. Авдокушин Е.Ф., Игумнов П.В. Азиатский вектор развития энергетического комплекса Сахалинской области // Власть и управление на Востоке России. – 2017. – №3(80). – С.8-19.
9. Полити В.В. Концептуальные направления инновационной модернизации и строительства энергосистем мегаполисов // Журнал прикладных исследований. – 2022. – №1(1). – С.31-38.

**References**

1. Gusev A.S. Gibridnaja model' vstavki postojanogo toka/ Gusev A.S., Sulajmanova A.O., Ufa R.A., Vasil'ev A.S., Lozinova N.G., Suslova O.V. // Jenergija edinoj seti. – 2016. – №2(25). – S.52-61.
2. Kalinin I.M. Konceptcija sozdanija otechestvennoj sistemy skvoznogo proektirovanija sudovyh jelektrojenergeticheskikh sistem // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra. 2019. – №1(387). – S.61-72.
3. Grigor'ev A.V., Glekler E.A. Komp'juternoe modelirovanie i issledovanie edinoj jelektrojenergeticheskoj sistemy v srede Simulink // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova. 2015. – T.№2(30). – S.185-191
4. Byrkov I.A. Paket programm Selen dlja avtomatizacii sozdanija matematicheskikh modelej jelektrojenergeticheskikh sistem v sostave trenazherov // Vestnik SPbGU. Serija 10. Prikladnaja matematika. Informatika. Processy upravlenija. 2010. – №2(10). – S.84-99.
5. Pankov I.A., Frolov V.Ja. Proektirovanie sudovoj jelektrojenergeticheskoj sistemy malogo gidrograficheskogo sudna «Vojgach» // Zapiski Gornogo instituta. 2016. – T.222 – S.852-857.
6. Savenko A.E. Matematicheskaja model' sudovogo jelektrotehnicheskogo kompleksa // Vestnik IGJeU. 2015. Vyp.5 – S.1-6.
7. Cicikjan G.N. Rezul'taty razvitija sudovyh jelektrojenergeticheskikh sistem // Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra. 2019. – T1. №387 – S.123-130.
8. Avdokushin E.F., Igumnov P.V. Aziatskij vektor razvitija jenergeticheskogo kompleksa Sahalinskoj oblasti // Vlast' i upravlenie na Vostoke Rossii. 2017. – №3(80). – S.8-19.
9. Politi V.V. Konceptual'nye napravlenija innovacionnoj modernizacii i stroitel'stva jenergosistem megapolisov // Zhurnal prikladnyh issledovanij. 2022. – №1(1). – S.31-38.

**УДК 621.431**

DOI: 10.34046/aumsuomt 103/18

**ASPECTS OF COMBUSTION AND COOLING PRINCIPLES  
IN MARINE GAS TURBINES**

*Octavian Narcis Volintiru, Epikhin A.I., Daniel Mărăşescu, Florin Ioniţă, Ionel Popa*

Marine gas turbine propulsion engine is derived from the turbo-shaft aero engine which has achieved many millions of flying hours in commercial aircraft. A typical application of the gas turbine is as the cruising engine in COGOG propulsion machinery. The combustion casing is a cylindrical housing that encloses a group of flame tubes, positioned in the annulus formed between the casing and an integral heat shield assembly. The air intake combustion chamber is used for the burning and cooling process. Cooling air is required to insulate components against heat radiation to prevent leakage of hot gases from the gas stream and to dissipate heat from the turbine assemblies.

**Keywords:** combustion chamber, gas turbine, airflow

**АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ СГОРАНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ  
В МОРСКИХ ГАЗОВЫХ ТУРБИНАХ**

*Octavian Narcis Volintiru,  
А.И. Епихин, кандидат технических наук  
Daniel Mărăşescu,  
Florin Ioniţă  
Ionel Popa*

Морской газотурбинный силовой двигатель является производным от турбинного авиационного двигателя, налет которого на коммерческих самолетах составляет многие миллионы часов. Типичное применение газовой турбины - маршевый двигатель в двигательной установке COGOG. Кожух сгорания представляет собой цилиндрический корпус, который включает в себе группу жаровых труб, расположенных в кольце, образованном между кожухом и составным узлом теплозащитного экрана. Камера сгорания с забором воздуха используется для процесса горения и охлаждения. Охлаждающий воздух необходим для изоляции компонентов от теплового излучения, предотвращения утечки горячих газов из газового потока и отвода тепла от узлов турбины.

**Ключевые слова:** камера сгорания, газовая турбина, воздушный поток.

**1. Gas turbine air intake system**

The function of the air intake system is to provide air that is free of moisture, dirt, salt and turbulence, in sufficient quantities for the engine across its

full operating range. A cascade bend enclosure is fitted in the air intake enclosure to ensure that the air flow from the intake passes to the compressor smoothly without causing turbulence. The intake