

УДК: 629.123

<https://doi.org/10.37890/jwt.vi69.219>

Технико-экономические аспекты и проблемы внедрения роторных гребных установок при модернизации и постройке судов (на примере проектов 1809 и CNF11CPD)

В.И. Самулеев¹

Ю.П. Мухин²

ORCID: 0000-0001-8826-2264

¹*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия*

²*ООО «Интерориент Навигейшн групп», Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. Статья содержит подробный анализ исследований, связанных с использованием уже имеющихся и новых принципов экономии топлива и снижения затрат на переоборудование и эксплуатацию судов вышеуказанных проектов. Авторы статьи не ставили своей задачей анализировать технические особенности именно данных проектов. Лишь привязываясь к данным проектам, анализ делался на весь флот данного типа в целом. Производится технико-экономический анализ характеристик, моделирование основных и вспомогательных установок в пакете Matlab, обеспечивающих экономию топлива на примере судов проектов 1809 и CNF11CPD. Затем осуществлено физическое моделирование. В результате проведения испытаний судна с роторной гребной электрической установкой (РГЭУ) произведен качественный анализ полученных данных, сделаны выводы, позволяющие судить о возможности широкомасштабного применения таких установок на морском транспорте.

Ключевые слова: экология морских перевозок, экономия топлива, гребная электрическая установка, индуктивно-емкостный преобразователь, математическое моделирование, ротор Флеттнера, ротор Савониуса, угол установки лопастей, ветродвижитель, практические испытания, катамаран.

Techno-economic aspects and problems of the rotary rowing units introduction in the modernization and construction of ships (on the example of projects 1809 and CNF11CPD)

Vladimir I. Samuleev¹

Yuri P. Mukhin²

ORCID: 0000-0001-8826-2264

¹*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

²*«Interorient Navigation Group», Saint Petersburg*

Abstract. The article contains a detailed analysis of studies related to the use of existing and new principles of fuel economy, and reducing the cost of vessels re-equipment and operation of the above projects. The authors of the article did not set out to analyze the technical features of these projects. Only by linking to these projects, the analysis was done for the entire fleet of this type as a whole. A technical and economic analysis of the characteristics, modeling of the main and auxiliary installations in the Matlab package, providing fuel economy on the example of ships of projects 1809 and CNF11CPD, is carried out. Then a physical simulation was carried out. As a result of testing a vessel with a rotary rowing electric unit (RREU), a qualitative analysis of the data obtained was carried out, conclusions

were drawn that allow us to judge the possibility of large-scale use of such installations in maritime transport.

Keywords: ecology of sea ships, fuel economy, electric propulsion system, inductive-capacitive converter, mathematical modeling, Flettner rotor, Savonius rotor, blade angle, wind turbine, practical tests, catamaran.

Введение

В последнее время в мире, в частности, в морском транспорте, существует несколько стратегий, направленных на снижение выброса выхлопных газов главных двигателей судов, потребления топлива с высоким содержанием серы. Обусловлены они постоянными решениями международных регламентирующих организаций - таких, как международная морская организация (ИМО), конференции по климату (COP21), МАРПОЛ, а также плаванием в особых экологических, природных и экономических зонах.

В то же время существует другая задача, не менее важная, чем экология морских перевозок. Цена перевозки одной тонны груза в среднем по основным морским трассам выросла в результате нескольких факторов. К ним относятся увеличенный грузооборот, увеличение себестоимости перевозок, увеличение цен на топливо, старение парка судов отдельных компаний. В результате ряд судовладельцев инвестирует проекты, направленные на снижение потребления топлива судовых установок за счет использования различных технических нововведений.

Одним из решений является применение гребной электрической установки (ГЭУ). Наибольшее распространение получили ГЭУ переменного тока. Так, например, появляются единые системы гребных установок, позволяющие совмещать электроснабжение всех потребителей судна и его ход.

Методы исследования

На примере судна проекта 1809 (типа «Сахалин») были выполнены исследования различных вариантов модернизации судна данного проекта. В качестве первого варианта предлагалось использовать схему двойного рода тока с использованием индуктивно-емкостного преобразователя (далее ИЕП), обладающего свойствами источника тока [1,2]. Сравнение производилось с исходным вариантом ГЭУ постоянного тока.

В схеме с использованием ИЕП за счёт резонанса напряжений происходит сохранение постоянства тока подключенной в схему гребного электродвигателя при возникновении на нём режима короткого замыкания, или близких к нему, например, удара винта о лёд.

Для оценки воздействия ИЕП на процессы, происходящие в схеме ГЭУ двойного рода тока, использовалось математическое моделирование в модели схемы модернизации с использованием ИЕП. Применялись электрические параметры машин, модель гребного винта, преобразователя ИЕП и неуправляемого выпрямителя, выбранных в технической документации по проекту и в технической документации, предоставленной заводами производителями этих агрегатов, для построения модели в пакете Matlab. Возмущающим воздействием, в данном случае, было резкое увеличение момента сопротивления на гребном винте.

В процессе математического моделирования были получены графики, совпадающие с реальными графиками исследований режимов ходовых испытаний, проводившихся в 1970-1971 годах группой ученых ЛВИМУ им. Макарова, Ленинградского центрального-конструкторского бюро, указанными в [3] и Рис.1.

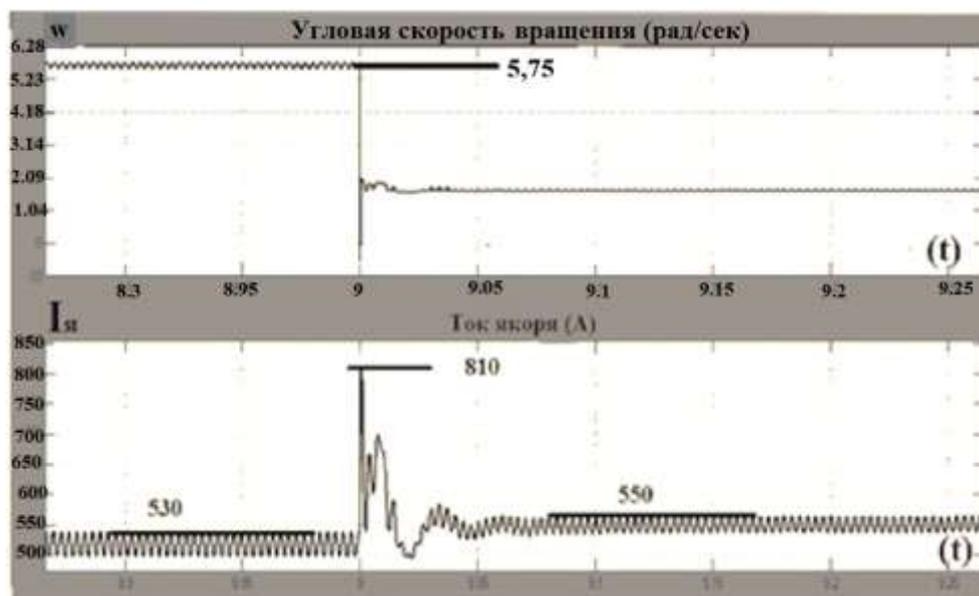


Рис. 1. График частоты вращения и тока якоря гребного двигателя с ИЕП.

Fig. 1. Graph of rotation speed and armature current of a propeller engine with inductive-capacitive converter.

Нами проведено исследование экономических показателей варианта модернизации с применением ИЕП относительно существующей ГЭУ постоянного тока по методике, изложенной в [4].

Оценка применения РГЭУ на судах

Дальнейшим направлением исследований стало применение в схемах модернизации систем активного движения с использованием роторов Флеттнера [5]. Для этого было проведено моделирование систем с такими установками в пакете Matlab, исследованы ветровые условия района работы судна, рассчитаны экономические показатели модернизации.

Исследование велось для следующих вариантов модернизации:

- 1) Вариант гребной электрической установки (далее ГЭУ) на переменном токе, с использованием преобразователей с широтно-импульсной модуляцией (далее ШИМ), принцип работы которого рассмотрен в [6,7].
- 2) Вариант ГЭУ двойного рода тока, с использованием ИЕП.

При произведенном расчёте [4] годовые затраты на топливо оказались снижены по вариантам модернизации: 1) на 30%, 2) на 40%.

Данный факт говорит о том, что модернизация с использованием установок второго варианта модернизации позволяет снизить затраты на топливо в среднем за год на 39%, а с учётом цен на оборудование, монтаж и эксплуатацию, даёт снижение срока окупаемости и рентабельности на 2 года.

Был также произведен анализ оперативных технических материалов, согласно которому можно сделать вывод, что установки с роторами Флеттнера сегодня, благодаря своим свойствам, имеют большое будущее, в частности при применении

таковых на морских судах [8,9,10, 11]. В мире предлагаются различные варианты установок, как постоянно действующих, так и убирающихся на палубу судна. Наиболее точными и близкими являются исследования по РГЭУ и роторам, изложенные в литературе [9,11]. Авторы данных статей также делают технико-экономические анализы маршрутов движения судов с такими установками, как уже существующие, так и предполагаемые. Также рассматриваются математическое моделирование роторов Флеттнера в потоке газа и жидкостей, анализ расчётов ходкости судов с установками данного типа, расчёт экономии топлива на данных судах.

В дальнейшем было произведено исследование ротора Савониуса и применение его на уже новых построенных судах (на примере проекта CFD11CPD)[12].

Существенным отличием от ротора Флеттнера в данной модели, было применение регулируемого угла установки лопастей (далее УУЛ), в данном случае полых полуцилиндров. Таким образом, ротор Флеттнера полностью трансформируется в ротор Савониуса.

Существует гипотеза о том, что в двухлопастном роторе Савониуса со смещенными полуцилиндрами (в некоторых источниках он указан как винг-ротор) также присутствует сила Магнуса, как и в роторе Флеттнера. В частности, в [13] автор, ссылаясь на статью[14], утверждает, что наилучшие данные продувок получаются при двукрылом роторе, у которого просвет между внутренними кромками его половин составляет $(1/3 - 1/6)\pi r$, где r — радиус цилиндрической поверхности.

В расчетах, приводимых в [15], рассмотрен такой показатель, как коэффициент перекрытия (бета). Формула коэффициента перекрытия имеет следующий вид:

$$\beta = \frac{e-a}{D} \quad (1)$$

где

e -ширина зазора между концами лопастей у оси ротора (в метрах);

a -диаметр вала (в метрах);

D -диаметр ротора Савониуса (регулируется в зависимости от УУЛ).

Данный коэффициент зависит от полного сечения ротора, которое в ходе регулировки УУЛ изменяется и зависит от диаметра и зазора между полуцилиндрами (e).

Представляется возможным, пренебрегая диаметром вала (a), упростить данную формулу до удобного для модели вида, преобразовав в формулу расчёта общего диаметра всего цилиндра (D):

$$D = d + d - e \quad (2)$$

где d -диаметр лопасти-полуцилиндра.

В данном случае диаметры полуцилиндров равны и не меняются, однако изменение зазора влечет за собой изменение общего диаметра ротора (D) и, как следствие, ометаемой ротором площади. Изменение величины ометаемой площади прямо пропорционально влияет на энергетические характеристики, одна из которых - момент сопротивления (M):

$$2M = \frac{\rho \times v^2 \times S \times R}{C_m} \quad (3)$$

где

C_m -коэффициент момента сопротивления, учитывающий сухое трение о поверхность полуцилиндров;

ρ -плотность воздуха в ($\text{кг}/\text{см}^3$);

v -скорость ветра в (м/сек);

S -площадь сечения ротора Савониуса(m^2), равная произведению $H \times D$, где H –это высота ротора Савониуса в (м), D -диаметр ротора,

R -радиус ротора Савониуса в (м).

Используя условие $D=d+d-e$, установленное нами ранее, подставляя формулу для его определения в общую формулу момента сопротивления получаем:

$$2M = \frac{\rho \times v^2 \times H \times (d+d-e) \times R}{C_M} \quad (4)$$

В модели в блоке диаметра была собрана подмодель учитывающая условие $D=d+d-e$, что используется в математической модели и обуславливает изменение УУЛ из режима Флеттнера в режим Савониуса.

После подстановки и составления имитационных моделей были получены следующие графики, изображенные на Рис.2 и Рис.3

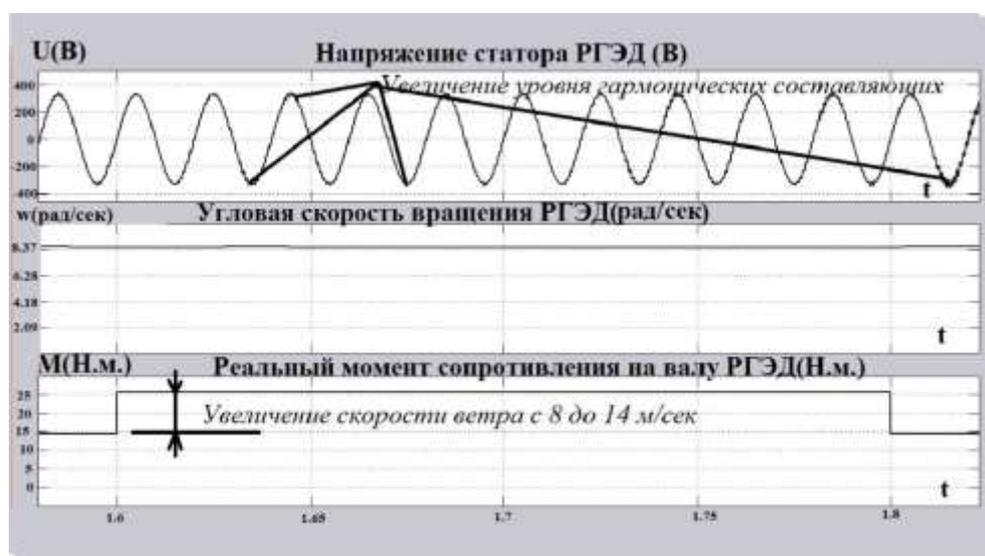


Рис. 2. Графики напряжения статора, угловой скорости вращения РГЭД, момента сопротивления на валу роторного гребного электродвигателя (РГЭД) в РГЭУ переменного тока с использованием преобразователя ШИМ в режимах Флеттнера-Савониуса при резком увеличении скорости ветра.

Fig.2. Graphs of stator voltage, angular velocity of rotation of the rotor electrical motor, torque on the shaft of a rotary electric motor in an alternating current electric propulsion system using a PWM converter in Flettner-Savonius modes with a sharp increase of wind speed.

Согласно данным графиков на Рис. 2, можно отметить постоянство скорости вращения при увеличении скорости ветра и наличие высших гармоник напряжения на участке увеличения.



Рис.3. Графики скорости вращения, тока якоря роторного гребного электродвигателя (РГЭД) ГЭУ двойного рода тока с использованием ИЕП в режимах Флеттнера-Савониуса.

Fig.3. Graphs of rotation speed, armature current of a rotary rowing electric motor in electric propulsion system with a double kind of current using with inductive-capacitive converter in Flettner-Savonius modes.

Если рассматривать влияние любого ветродвижителя (в том числе и роторы Флеттнера и Савониуса) на корпус судна, то наиболее точным будет изложенный алгоритм расчёта, рассмотренный в выражениях (5,6,7) ниже [14]. В расчёте также выведены формулы эффективности ветродвигателя под разными курсовыми углами судна относительно истинного ветра. Расчёт производится в относительных единицах согласно схеме на Рис.4.

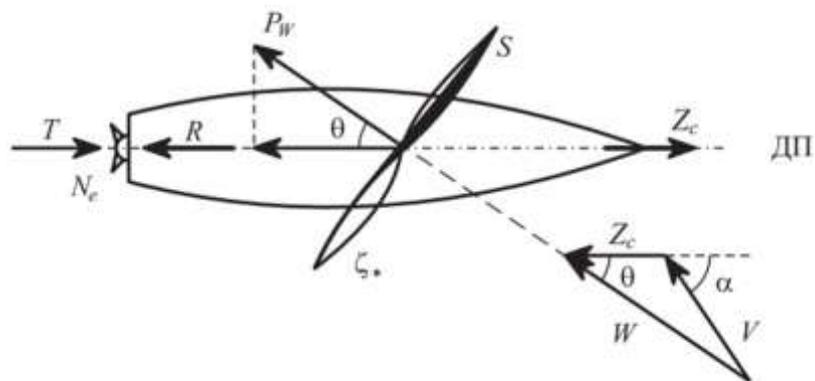


Рис.4. Схема движения судна с ветродвигателем.

Fig.4. Diagram of the movement of a vessel with a wind turbine.

Движение прямо против ветра имеем из уравнения:

$$Z_c = \frac{\frac{n \zeta}{C_w}}{1 + \frac{R}{P_w} \frac{n \zeta}{C_w}} = \frac{0.35 \frac{0.35}{0.75}}{1 + 0.45 + 0.161} = 0.12 \quad (5)$$

где

Z_c -безразмерная скорость судна;

ζ -коэффициент использования энергии ветра на неподвижном судне ($Z_c= 0$), классическим расчётом определяется совместно, по [16,17];

R -сопротивление воды движению судна, рассчитывается совместно, по [11,16];

P_w -лобовое сопротивление ветродвигателя, рассчитывается по [17];

C_w -аэродинамический коэффициент лобового сопротивления ветродвигателя и надводной части судна, рассчитывается совместно по [11,16,17];

n -КПД гребного винта и передачи «ветродвигатель – гребной вал».

Движение курсом галфвинд:

$$Z_c = \frac{\frac{n \zeta}{C_w}}{\sqrt{\left(\cos \theta + \frac{R}{P_w}\right)^2 - \left(\frac{n \zeta}{C_w}\right)^2}} = \frac{0.35 \frac{0.35}{0.75}}{\sqrt{(\cos 45 + 0.45)^2 - (0.35 \frac{0.35}{0.75})^2}} = 0.14 \quad (6)$$

где

θ -кажущийся курсовой угол, рассчитывается по основным углам направления ветра.

Движение прямо за ветром:

$$Z_c = \frac{\frac{n \zeta}{C_w}}{\cos \theta + \frac{R}{P_w} + \frac{n \zeta}{C_w}} = \frac{0.35 \frac{0.35}{0.75}}{-1 + 0.45 - 0.161} = -0.41 \quad (7)$$

Физическое моделирование и испытания РГЭУ

Представляется возможным оценить воздействие РГЭУ на судно и его ходовые качества практическими испытаниями, которые проводились на судне катамаране гоночного класса «Торнадо» с РГЭУ, включающей в себя ротор Флеттнера с постепенным раскрытием в ротор Савониуса.

РГЭУ данного судна в конце сборки представляла собой схему на постоянном токе, изображенную на Рис.5. Судно в момент ходовых испытаний изображено на Рис. 6.

На схеме Рис.5 обозначено:

РГЭД-роторные гребные электрические двигатели параллельного возбуждения соответственно левого (ЛБ) и правого борта (ПБ);

ШИМ-полупроводниковый инвертор, ведомый сетью на принципе широтно-импульсной модуляции;

АКБ-аккумуляторная батарея тяговая, (тип ДЕКА DC27 6СТ-105);

ГЭД-гребные лодочные электродвигатели, соответственно левого (ЛБ) и правого (ПБ) борта;

РР-ременной редуктор.

Исследования проводились на участке р. Ока в районе Окского затона в г.Нижнем Новгороде на учебно-тренировочной базе-судне «Академик». На Рис.7 схематично обозначен маршрут движения катамарана, состоящий из участков для проведения исследования. Вначале весь маршрут был пройден только на ГЭД. Ротор в этот

момент был закрыт и остановлен. Затем тот же маршрут проходил с вращающимся ротором. В таблице 1 приведены графы:

- Участок маршрута
- Истинный ветер
- Схема движения (вращение ротора относительно диаметральной плоскости судна)
- Ток потребляемый из Аккумуляторной батареи
- Ток потребляемый или генерируемый РГЭД
- Ток потребляемый ГЭД
- Скорость судна относительно земли (измерялась по GPS-навигатору).

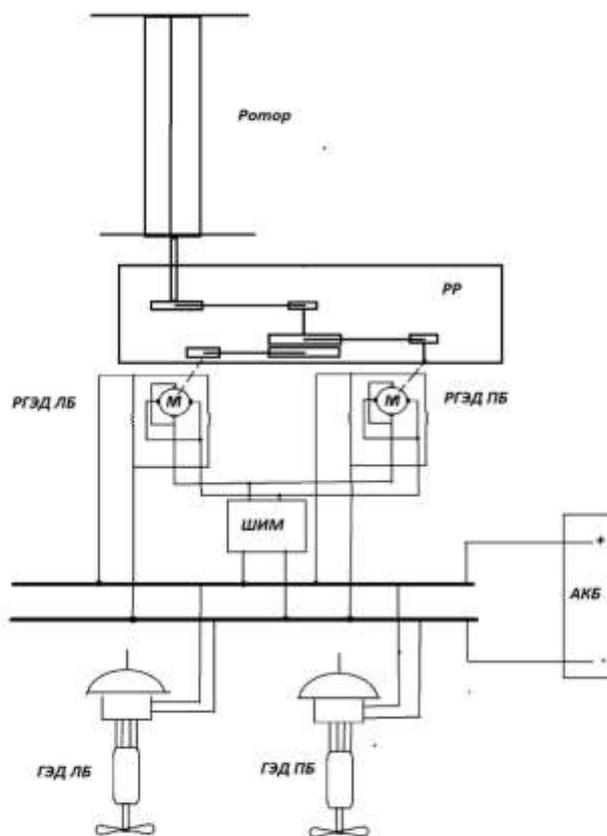


Рис. 5. Схема РГЭУ судна катамарана Торнадо.

Fig. 5. Diagram of DC rotor electric propulsion system of the Tornado catamaran vessel.



Рис.6. Судно-катамаран типа «Торнадо» с РГЭУ в момент выхода на испытания.

Fig.6. A Tornado-type catamaran vessel with rotor electric propulsion system at the time of entering the maneuvering tests.



Рис.7. Район исследований с нанесением маршрута движения катамарана.

Fig.7. The research area with the drawing of the catamaran route.

Результаты

1) В результате первого анализа, произведенного для варианта модернизации ГЭУ двойного рода тока с применением ИЕП относительно варианта до модернизации, затраты на модернизацию с применением ИЕП оказались ниже на 20 процентов, а срок окупаемости снизился с 7 лет до 5 лет.

2) При произведенном расчёте экономических затрат для двух вариантов модернизации с применением РГЭУ [4] годовые затраты на топливо оказались снижены по вариантам модернизации: 1) На 30%, 2) На 40%.

3) При математическом моделировании РГЭУ с ротором Савониуса, согласно данным графика на Рис.3 можно видеть следующее:

- а) Участок №1 характеризуется режимом Флеттнера;
- б) Участок №2 -постепенный переход на режим Савониуса;
- в) Участок №3 Работа в режиме Савониуса с постепенным снижением и уходом в генераторный режим;
- г) Участок №4 наблюдается стабилизация скорости вращения с помощью регулировки УУЛ во время изменения момента сопротивления;
- д) Участок №5 стабилизация постоянства скорости вращения с помощью регулировки УУЛ во время изменения скорости ветра.

4) Анализируя расчёт, произведенный по Рис.4, можно указать на воздействие ветра в различных направлениях на механическую установку. В данном случае при ветрах на курсах галфвинд имеется 14-ти процентное приращение скорости. При движении прямо за ветром можно обнаружить отрицательное значение. Объясняется этот факт тем, что судно данном случае двигается не носом, а кормой к ветру, при этом косинус угла Θ (180 градусов) равен -1, а направление вращения ветроколеса осуществляется в обратную сторону, при этом расчёт этого не учитывает. Учитывая данные условия расчёта невозможно оценить воздействие РГЭУ на судно и на судовое электрооборудование.

5) Данные физического моделирования согласно исследованиям по маршруту, нанесенному на Рис.7, заведены в таблицу 1, отдельно выведен график изменения токов ГЭД и тока якоря РГЭД на Рис.8.

Таблица 1

Результаты исследования судна с ротором Флеттнера-Савониуса с остановленным и запущенным ротором.

Ротор остановлен						
Участок	Ветер истинный/отн. Курс(м/сек)	Схема движения	АКБ (А)	якоря РГЭД	I ГЭД (А)	Скорость относительно земли (км/ч)
				суммарный		
1	В нос 7	маневры	5	0	5	5
2	Слева в корму 7-8	влево	7	0	7	6
3	Слева в корму-слева в борт-в нос 7-8	Влево-стоп-влево	6	0	6	3
4	В нос 7	влево	7	0	7	4
5	Слева в борт 8	влево	4,5	0	4,5	5
6	Слева в борт- в нос-справа в борт 8-9	Влево-стоп-вправо	6	0	6	2
7	Справа в борт 8-9	вправо	5	0	5	6
8	Справа в корму 9-14	вправо	5	0	5	7
Ротор запущен						
Участок	Ветер истинный/отн. Курс(м/сек)	Схема движения	АКБ (А)	якоря РГЭД	I ГЭД (А)	Скорость относительно земли (км/ч)
				суммарный		
1	В нос 7	маневры	5	0	5	5
2	Слева в корму 7-8	влево	5	5	2	6
3	Слева в корму-слева в борт-в нос 7-8	Влево-стоп-влево	5	3,5	2	3
4	В нос 7	влево	6	2	4	4
5	Слева в борт 8	влево	4	4	0	5
6	Слева в борт- в нос-справа в борт 8-9	Влево-стоп-вправо	5	4	1	2
7	Справа в борт 8-9	вправо	4	4	0	5
8	Справа в корму 9-14	вправо	2	1	0	7

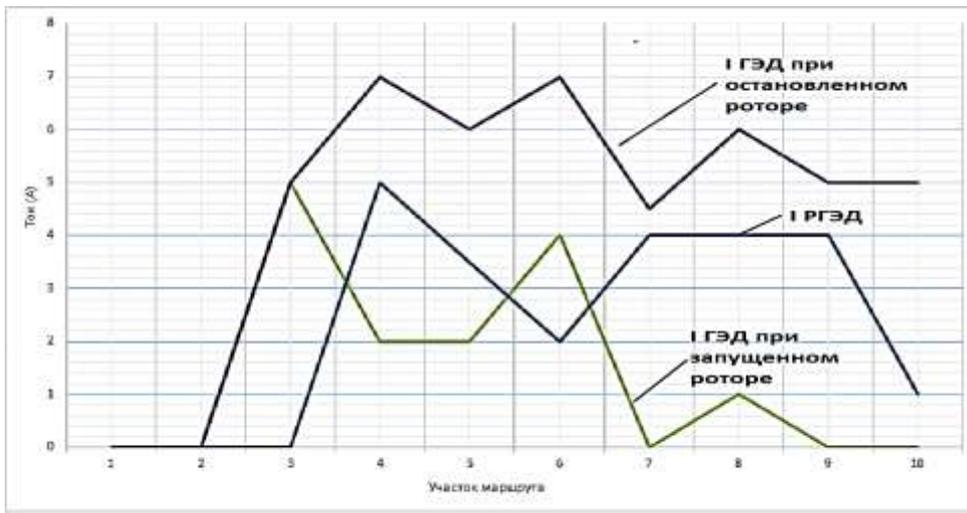


Рис.8 График изменения токов ГЭД и тока якоря РГЭД на судне в зависимости от участка движения.

Fig.8 Graph of changes in the currents of the propulsion electric motor and the current of armature of the rotor propulsion motor on the vessel depending on the traffic section.

Исходя из данного графика, можно отметить снижение тока, потребляемого из аккумуляторной батареи на 4,5,6,7,8 участках маршрута испытаний. Ток, потребляемый РГЭД, имеет падение на 4,5,6 участках.

Выводы

1. Предпочтительным вариантом модернизации судов, по сравнению с существующим вариантом ГЭУ на постоянном токе, согласно проведенным исследованиям, является схема двойного рода тока с применением ИЕП, так как не требует затрат на построение схем защиты ГЭУ.
2. Схема переменного тока с применением ШИМ технологии имеет более экономичное использование энергии, особенно в РГЭУ с применением роторов Флеттнера. Схема двойного рода тока, применяемая в РГЭУ также повышает эффективность и снижает затраты на топливо в целом на 40%
3. При применении в РГЭУ роторов Савониуса, что следует из результатов практических испытаний судна катамарана с РГЭУ, идет снижение тока РГЭД, что в свою очередь повышает эффективность, при неизменной скорости движения судна.

Благодарности

Авторы выражают глубокую признательность и благодарят управление научных исследований и инновационной деятельности в лице начальника Гордлеева Сергея Дмитриевича за консультативную, опытно-конструкторскую помощь и поддержку, а также сопровождение всех стадий проекта, постройки, физической модели и практических испытаний. Авторы также признательны за консультативную помощь и ценные советы, на стадии сборки модели, директору учебно-тренажерного центра «Судоремонт», Давыдову Евгению Александровичу.

Список литературы

1. Самулеев В.И., Мухин Ю.П. Исследование переходных процессов в ГЭУ паромов проекта 1809 (тип «Сахалин») с использованием индуктивно-емкостного преобразователя//Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Вып. 45. - Н.Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО ВГАВТ. 2015. с. 281–288.
2. Самулеев В.И., Гусакова Т.Н., Мухин Ю.П. Техничко-экономическое обоснование выбора варианта судовой электроэнергетической системы судна проекта 1809. Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек. Материалы конгресса Международного форума «Великие реки». 2016 г.-вып.5. URL: [xn--http://--7yhu1bc1e6aba2agle.xn--/2016/pdf/130-97kyd.pdf](http://xn--7yhu1bc1e6aba2agle.xn--/2016/pdf/130-97kyd.pdf).
3. Отчёт по научно-исследовательской работе «Исследование режимов работы и определение мероприятий по повышению эффективности работы гребной электрической установки паромов типа «Сахалин». ЛВИМУ им. С. О. Макарова- Ленинград: 1978г.223с. УДК 629.12.037.4-83
4. В.К. Калачев, А.С. Трошин. Эффективность проектных решений: метод. указания для студентов очного и заочного обучения специальности 180404 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики». Н. Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ».2014. 24 с.
5. Самулеев В.И., Мухин Ю.П., Калачёв В.К. Техничко-экономический анализ вариантов схем электродвижения при модернизации парома проекта 1809(тип «Сахалин»). // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Вып. 49. - Н.Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО ВГАВТ. 2016. с. 251–258. URL: http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v49.pdf.
6. Романовский В.В., Мальшев В.А., Сорокин Ю.В. Гребные электрические установки ледоколов и судов ледового плавания. Учебное пособие //Санкт-Петербург: ГУ МРФ им. Макарова. 2019г. 396с.

- 7.Алехин Н.Б., Мироненко В.П. Анализ особенностей эксплуатации танкера с парусным вооружением. Исследование, проектирование и постройка парусных судов// Сборник научных трудов. – Николаев: НКИ. 1982г. 101с.
8. Патент US 20130220191A1(SHIP, IN PARTICULAR FREIGHT SHIP, WITH A MAGNUS ROTOR)-автор Рольф Роден. Европейская база патентов.
9. Seifert J. Micro Air Vehicle lifted by a Magnus Rotor. A Proof of Concept. //American Institute of Aeronautics and Astronautics journal. 2011.1-10pps. DOI:10.2514/6.2012-389
10. Traut M., Bows A., Gilbert P., Mander S., Stansby P., Walsh C., Wood R. Low C for the High Seas Flettner rotor power contribution on a route Brazil to UK.// Tesis of Low Carbon Shipping Conference. University of Manchester. Newcastle.2012. URL: https://www.researchgate.net/profile/MichaelTraut/publication/233863726_Low_C_for_the_High_Seas_Flettner_rotor_power_contribution_on_a_route_Brazil_to_UK/links/09e4150c5fc35ba24f000000/Low-C-for-the-High-Seas-Flettner-rotor-power-contribution-on-a-route-Brazil-to-UK.pdf
- 11.Santoso A., Muhhamad Z., Arrijal P. Techno-economic analisis of rotor Flettner in container ship 4000 DWT.//International Journal of Marine Engineering Innovation and Research. Jun. 2017. 189-195pps. DOI:10.12962/j25481479.v1i3.2074
- 12.Самулеев В.И., Мухин Ю.П. Использование возобновляемых источников энергии для питания судовых потребителей и экономии топлива. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием и XI научной молодежной школы. Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Объединенный институт высоких температур РАН. 2018г.URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37080399>.
- 13.Михненко Л.В. Авиационная подъёмно-транспортная система и ветроэнергетические устройства вихревого типа. монография. М.: РИО МГТУ ГА. 2014. - 96 с. URL:<http://storage.mstuca.ru/jspui/bitstream/123456789/7886/1/Binder1.pdf>
14. Чуриков. Теория и практика крыльевого ротора (вингротора).Самолет. № 7.1932. 38с.
15. Бубенчиков А.А., Белодедов А.Е., Булычев И.С., Шепелев А.О./ Исследование аэродинамики и энергетических характеристик ротора Савониуса.// Международный научно-исследовательский журнал.-2016-№12-с.28-34. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-aerodinamiki-i-energeticheskikh-harakteristik-rotora-savoniusa/viewer>.
16. Крючков Ю.С., Микитюк В.Е., Подгуренко В.С., Торубара В.В. Ветроходы атомного века. Николаев. 2014 год. Торубара В.В. 348с.
- 17.Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии//Москва:Энергоатомиздат. 1990. – 392 с.

References

1. Samuleev V.I., Mukhin Yu.P. Issledovanie perekhodnykh protsessov v GEHU paromov proekta 1809 (tip «SakhaliN») s ispol'zovaniem induktivno-emkostnogo preobrazovatelya //Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport. Issue 45. - N. Novgorod: VestnikVGAWT. 2015. pp. 281-288.
- 2 Samuleev V.I., Gusakova T.N., Mukhin Yu.P. Tekhniko-ehkonomicheskoe obosnovanie vybora varianta sudovoi ehlektroenergeticheskoi sistemy sudna proekta 1809.Problemy ispol'zovaniya i innovatsionnogo razvitiya vnutrennikh vodnykh putei v basseinakh velikikh rek. Materialy kongressa Mezhdunarodnogo foruma «Velikie reki». 2016-issue 5.URL: [xn--http://---7yhu1bc1e6a6a2ag1e.xn--/2016/pdf/130-97kyd.pdf](http://xn--7yhu1bc1e6a6a2ag1e.xn--/2016/pdf/130-97kyd.pdf).
3. Otchet po nauchno-issledovatel'skoi rabote «Issledovanie rezhimov raboty i opredelenie meropriyatii po povysheniyu ehffektivnosti raboty grebnoi ehlektricheskoi ustanovki paromov tipa «SakhaliN». LVIMU im. S. O. Makarova- Leningrad: 1978g.223s. UDC 629.12.037.4-83
4. Kalachev V.K., Troshin A.S.. Ehffektivnost' proektnykh reshenii: metod. ukazaniya dlya studentov ochnogo i zaochnogo obucheniya spetsial'nosti 180404 «Ehkspluatatsiya sudovogo ehlektooborudovaniya i sredstv avtomatikI». N. Novgorod: Izd-vo FBOU VPO «VGAVT». 2014. 24 p.
- 5 Samuleev V.I., Mukhin YU.P., Kalachev V.K. Tekhniko-ehkonomicheskii analiz variantov skhem ehlektrodvizeniya pri modernizatsii paroma proekta 1809(tip «SakhaliN»). // Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta. Vyp. 49. - N.Novgorod: Izd-vo FGOU VPO VGAVT.2016. pp. 251-258.URL: http://journal.vsuwt.ru/public/v_arc/v49.pdf.

6. Romanovskii V.V., Malyshev V.A., Sorokin YU.V. Grebnye ehlektricheskie ustanovki ledokolov i sudov ledovogo plavaniya. Uchebnoe posobie //Sankt-Peterburg: GU MRF im. Makarova.2019. 396s.
7. Alekhin N.B., Mironenko V.P. Analiz osobennostei ehkspluatatsii tankera s parusnym vooruzheniem. Issledovanie, proektirovanie i postroika parusnykh sudov// Sbornik nauchnykh trudov. – Nikolaev: NKI. 1982g. 101c.
8. Patent US 20130220191A1(SHIP, IN PARTICULAR FREIGHT SHIP, WITH A MAGNUS ROTOR) - author Rolf Roden. European Patent database.
9. Seifert J. Micro Air Vehicle lifted by a Magnus Rotor. A Proof of Concept. //American Institute of Aeronautics and Astronautics journal. 2011.1-10pps. DOI:10.2514/6.2012-389
10. Traut M., Bows A., Gilbert P., Mander S., Stansby P., Walsh C., Wood R. Low C for the High Seas Flettner rotor power contribution on a route Brazil to UK.// Tesis of Low Carbon Shipping Conference. University of Manchester. Newcastle.2012. URL: https://www.researchgate.net/profile/MichaelTraut/publication/233863726_Low_C_for_the_High_Seas_Flettner_rotor_power_contribution_on_a_route_Brazil_to_UK/links/09e4150c5fc35ba24f00000/Low-C-for-the-High-Seas-Flettner-rotor-power-contribution-on-a-route-Brazil-to-UK.pdf
11. Santoso A., Muhhamad Z., Arrijal P. Techno-economic analisis of rotor Flettner in container ship 4000 DWT.//International Journal of Marine Engineering Innovation and Research. Jun. 2017. 189-195pps. DOI:10.12962/j25481479.v1i3.2074
12. Samuleev V.I., Mukhin YU.P. Ispol'zovanie vozobnovlyaemykh istochnikov ehnergii dlya pitaniya sudovykh potrebitelei i ehkonomii topliva. Materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem i XI nauchnoi molodezhnoi shkoly. Moskovskii gosudarstvennyi universitet imeni M. V. Lomonosova, Ob"edinennyi institut vysokikh temperatur RAN.. 2018 URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37080399> .
13. Mikhnenkov L.V. Aviatsionnaya pod"emno-transportnaya sistema i vetroehnergeticheskie ustroystva vikhrevoogo tipa. monografiya. M.: RIO MGTU GA. 2014. - 96 s.
14. Churikov. Teoriya i praktika kryl'evogo rotora (vingrotora).Samolet. № 7.1932. 38c
15. Bubenichikov A.A., Belodedov A.E., Bulychev I.S., Shepelev A.O./ Issledovanie aehrodinamiki i ehnergeticheskikh kharakteristik rotora Savoniusa.// Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal.-2016-No.12-pp.28-34. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-aerodinamiki-i-energeticheskikh-kharakteristik-rotora-savoniusa/viewer>.
16. Kryuchkov YU. S., Mikityuk V. E., Podgurenko V. S., Torubara V. V. . Vetrokhody atomnogo veka. Nikolaev. 2014 god. Torubara V.V. 348s.
17. Twydell J., Ware A. Renewable energy sources// Moscow: Energoatomizdat. 1990– - 392 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Самулеев Владимир Иванович, к.т.н., профессор, профессор кафедры электрооборудования объектов водного транспорта Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5. e-mail: kaf_eeovt@vsuwt.ru

Мухин Юрий Петрович, инженер-электромеханик крьюинговой компании «Интерориент навигейшн Санкт-Петербург», соискатель на степень к.т.н., г. Нижний Новгород ул. Казанское ш.10/5. e-mail: yuranmukhin@yandex.ru

Vladimir I. Samuleev, candidate of technical Sciences, Professor, Professor of electrical equipment water transport Volga state University of water transport, 603951, Nizhny Novgorod, St Nesterov, 5.

Yuri P. Mukhin, electrical engineer crewing company «Interorient navigation of Saint-Petersburg», the applicant for the degree of candidate of technical Sciences, Nizhny Novgorod, Kazanskoe av.10/5. Tel: (mob)+79506214344

Статья поступила в редакцию 01.11.2021; опубликована онлайн 20.12.2021.
Received 01.11.2021; published online 20.12.2021.