

УДК 629.1.004

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ (НА ПРИМЕРЕ МОРСКОЙ ЯХТЫ)

А. Козинский<sup>1</sup>, Andrzej Czerepicki<sup>2</sup>, Marcin Koniak<sup>2</sup><sup>1</sup> *Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина, Брест, Беларусь*<sup>2</sup> *Варшавский политехнический университет, Варшава, Польша*

*Приводятся результаты исследования энергетической системы яхты. В работе описана, созданная в рамках проекта REP SAIL, концепция для систем хранения энергии транспортного средства на основе возобновляемых источников энергии. Построенная математическая модель энергетической системы используется для прогнозирования состояния источников хранения энергии.*

### 1. Введение

В рамках инновационного проекта REP SAIL (Renewable Energy Powered Hybrid Innovative Sailing Yatch) ведется строительство яхты из современных композитных материалов с гибридным приводом. Гибридный привод предполагает использование возобновляемых источников энергии. Для обеспечения безопасности на яхте установлен классический двигатель внутреннего сгорания класса есо. Результатом реализации проекта является совершенно новый тип легкого блока, который может стать прототипом для строительства приводов и корпусов яхт на ближайшие 20 лет.

При проектировании судна нового поколения учтены ряд факторов производства, размещения и использования материалов, конструктивных элементов яхты и их эксплуатационные свойства: характеристика материалов и процесса производства биокompозитов, расширение верхней палубы на 10-12 м<sup>2</sup> для размещения солнечных панелей, поднятие области кабины для минимального изменения подводной части, разработка ветровых турбины для установки внутри корпуса. Из-за ограниченного объема статьи мы не будем описывать все эти условия подробно.

Факультет транспорта Варшавского политехнического университета [1] в рамках проекта REP SAIL отвечает за разработку и контроль за проектированием системы аккумулирования энергии. По указанной причине перечислим некоторые важные условия проектирования энергетической системы судна на основе возобновляемых источников энергии. К ним относятся: применение активных солнечных панелей, устойчивых к морским условиям, применение подпалубных турбин и турбин, питающих батареи во время операций с парусами, использование ультрасовременного электропривода для движения судна в портах и районах, где отсутствуют условия использования двигателей внутреннего сгорания или ветер (например, центр города), применение современных источников питания (аккумуляторные батареи на основе лития), использование современных систем управления питанием.

В рамках проекта необходимо решить следующие задачи: выбрать технологию используемых химических батарей, удовлетворяющую критериям про-

екта, провести исследования выбранных технологий согласно разработанной программе, создать компьютерную модель системы энергообеспечения на основе проведенных исследований, выбрать целевую технологию на основе моделирования, разработать технические требования для пакета батареи, производство которого будет поручено субподрядчику, интегрировать пакет батареи с другими компонентами в лабораторной версии и провести его испытания. После окончания испытания может быть выполнен монтаж батареи в корпусе судна.

В процессе решения перечисленных задач была создана концепция для систем хранения энергии и определены ее технические преимущества, позволяющие выполнять строительство судна и его подсистем. На основе концепции выполнены работы по разработке компьютерной среды для моделирования работы батареи.

## 2. Энергетическая установка

Основной привод яхты обеспечивается силой ветра, действующего на парус. Однако для полной мобильности яхты, например, в порту и акваториях, где не может быть использован ветер, эффективнее применять в качестве привода трехфазный вентильный электродвигатель BLDC (Brushless Direct Current Motor). Такой привод представляет собой мощный гибридный двигатель. Электрическая энергия, необходимая для его работы, хранится в электрических литиевых аккумуляторах. Система питания на возобновляемых источниках энергии содержит также солнечные модули, включающие от 6 до 30 панелей по 100 Ватт каждая. Их наличие позволит обеспечить необходимой энергией как приводы, так и другие элементы судна (например, навигационную систему). В настоящее время для промышленных установок или на электростанциях устанавливают системы, которые включают в себя тысячи солнечных панелей.

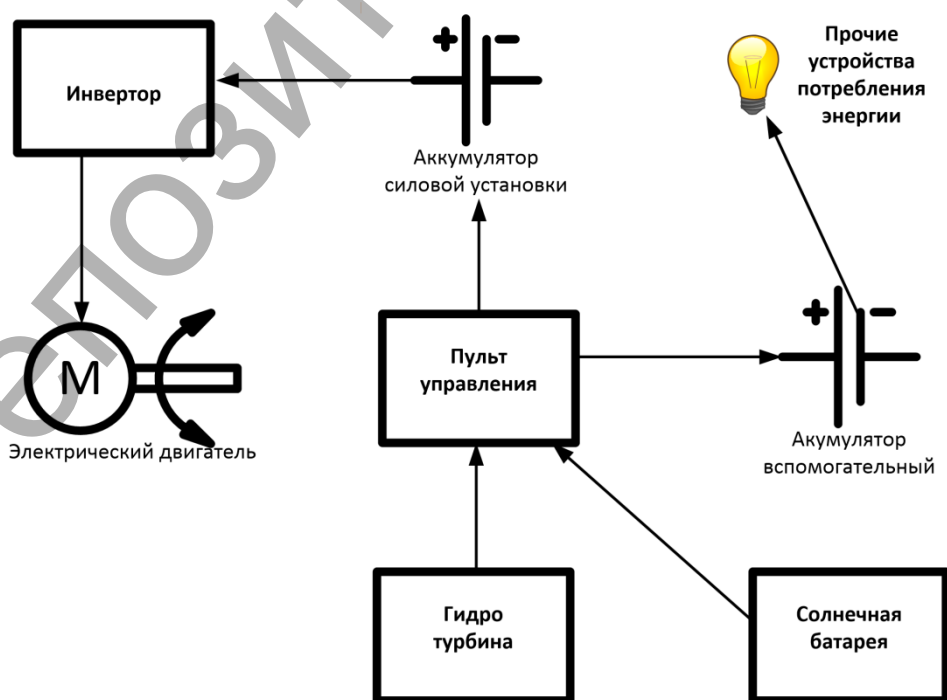


Рисунок 1 – Схема энергетической системы на возобновляемых источниках энергии

Достигнутый коэффициент преобразования позволяет говорить об эффективности этих систем. Световые волны, имеющие длину, находящуюся в пределах заданного диапазона, могут быть преобразованы в электрическую энергию. При этом неиспользованный свет поглощается материалом наполнителем батареи или отражается. Панели на судне адаптированы под структуру судна и морских условий. Кроме того, они могут эксплуатироваться без технического обслуживания и очистки (благодаря использованию покрытия из оксида титана). Панелей общей площадью около 10 м<sup>2</sup> достаточно для получения энергии, обеспечивающей движение со скоростью 5 узлов в час. Производство необходимого объема энергии в такой системе займет около 2 часов.

Концепция строительства яхты включает использование энергии ветра для зарядки электрических аккумуляторов. Для увеличения скорости ветрового потока применены ветровые каналы и соответствующие спирали на корпусе судна. Скорость ветра увеличена благодаря каналам, размещенным по центру спирали, где кинетическая энергия преобразовывается в электрическую энергию для зарядки аккумуляторов.

Яхта способна двигаться со скоростью 6-7 узлов в час. Гидротурбины, которые производятся в рамках проекта, размещаются по обеим сторонам киля внутри корпуса и не меняют скорость судна больше, чем на один узел. Устанавливаемые конические гидродинамические каналы размещаются вблизи системы трансмиссии. Турбина, помещенная в конце канала, выполняет поворот со скоростью 10 узлов. Такое решение позволяет достигнуть 800 оборотов в минуту на генераторе постоянного тока, используемого для преобразования в электрическую энергию.

С использованием компьютерной среды проанализированы возможности для использования в проекте технологии батарейных блоков и разработана программа их испытаний батарейных блоков. Результаты проектирования представлены в виде схемы энергетической системы яхты на возобновляемых источниках энергии (рис. 1).

### **3. Математическая модель аккумулятора силовой установки**

Накопление и управление энергией, поступающей от возобновляемых источников, является важным вопросом проекта. Правильный выбор источника в процессе производства и хранения энергии может заметно улучшить производительность системы, что и является предметом научных исследований. Литиевые батареи, применяемые для хранения энергии, разработаны так, чтобы накапливать ее с минимальными потерями [2]. Для эффективного использования литиевых батарей выполнены исследования процессов их зарядки и разрядки [3]. Исследования проведены для различных режимов, каждому из которых соответствуют индивидуальные параметры. Параметры режимов определяются током зарядки в пределах от 0,1 до 6 Ампер. Фиксация других измеряемых параметров выполнена через каждые 5 секунд: емкость (мАмпер/ч), напряжение на полюсах аккумулятора (мВ) и другие. Все измерения представлены в базе данных.

На основе данных измерений спроектирована математическая модель для прогнозирования емкости аккумуляторной батареи при ее зарядке (разрядке) током  $I$  в течение времени  $t$ . Для построения модели использован сплайн второго порядка, имеющий вид:

$$E(t, I) = a_{ik}(t - t_i)(I - I_k) + b_{ik}(t - t_i) + c_{ik}(I - I_k) + d_{ik}. \quad (1)$$

Коэффициенты  $a_{ik}, b_{ik}, c_{ik}, d_{ik}$  определяются из системы уравнений (2):

$$\begin{cases} E(t_i I_k) = a_{ik}(t_i - t_i)(I_k - I_k) + b_{ik}(t_i - t_i) + c_{ik}(I_k - I_k) + d_{ik} \\ E(t_{i-1} I_k) = a_{ik}(t_{i-1} - t_i)(I_k - I_k) + b_{ik}(t_{i-1} - t_i) + c_{ik}(I_k - I_k) + d_{ik} \\ E(t_i I_{k-1}) = a_{ik}(t_i - t_i)(I_{k-1} - I_k) + b_{ik}(t_i - t_i) + c_{ik}(I_{k-1} - I_k) + d_{ik} \\ E(t_{i-1} I_{k-1}) = a_{ik}(t_{i-1} - t_i)(I_{k-1} - I_k) + b_{ik}(t_{i-1} - t_i) + c_{ik}(I_{k-1} - I_k) + d_{ik} \end{cases}, \quad (2)$$

где  $E(t, I)$  – емкость батареи в момент времени  $t$  при зарядке током  $I$ ;

$t_{i-1}, t_i$  – моменты времени, для которых выполнены измерения характеристик аккумуляторной батареи (сила тока, ёмкость батареи, напряжение и т.д.),  $t_{i-1} < t_i$ ;

$t$  – момент времени, для которого необходимо определить емкость батареи в соответствии с построенной моделью ( $t_{i-1} \leq t \leq t_i$ );

$I_{k-1}, I_k$  – значения силы тока зарядки батареи, измеренные в моменты времени  $t_{i-1}$  и  $t_i$ , соответственно ( $I_{k-1} < I_k$ );

$I$  – ток зарядки, для которого необходимо определить емкость батареи для момента времени  $t$ .  $I_{k-1} \leq I \leq I_k$ ;

$E(t_m I_n)$  – емкость батареи в момент времени  $t_m$  при зарядке током  $I_n$ .

Данные значения занесены в базу данных измерений.

Выражения (1), (2) в совокупности с базой данных выполненных измерений образуют математическую модель поведения аккумуляторной батареи. В ходе построения модели выполнена оценка погрешности измерений и вычислений. Результаты оценки погрешности позволяют сделать вывод о достаточной адекватности построенной модели.

#### 4. Программное обеспечение

Разработанное в рамках проекта программное обеспечение предназначено для измерения параметров процессов разрядки и зарядки аккумуляторной батареи яхты, предварительной обработки результатов измерений и их последующей загрузке в базу данных.

На основе математической модели аккумулятора разработан итерационный алгоритм, позволяющий на основании графика распределения суточной нагрузки в электрической цепи яхты прогнозировать процесс разрядки аккумулятора во времени. Программное обеспечение было разработано с использованием технологии WebForms для платформы .NET фирмы Microsoft. В качестве базы данных выбрана СУБД Microsoft SQL Server 2014. Информационная система работает под управлением ОС Microsoft Windows Server 2012. Схему информационной системы моделирования представляет рис. 2.

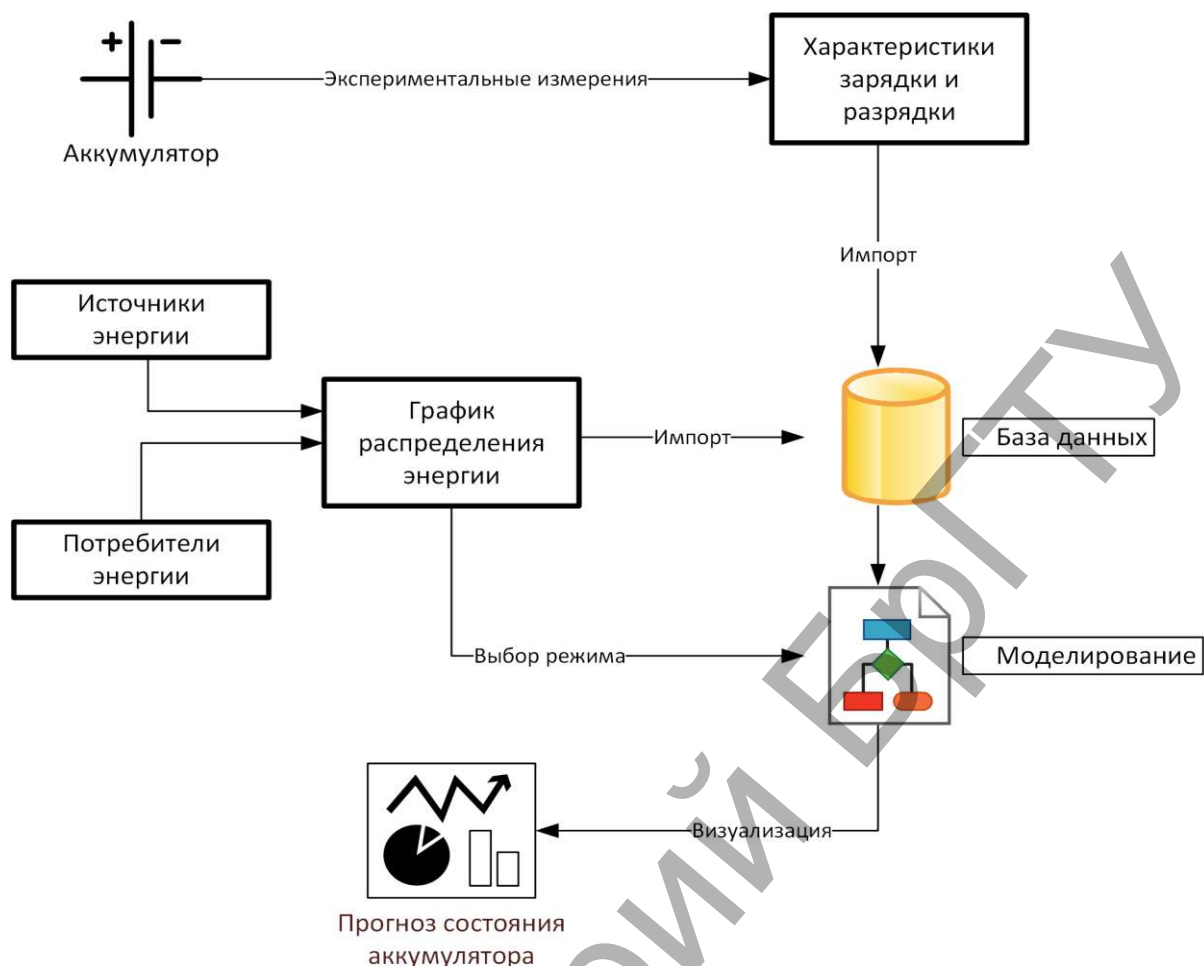


Рисунок 2 – Схема информационной системы для моделирования процессов эксплуатации аккумулятора

## 5. Выводы

С использованием построенной математической модели возможно решение задач эффективного использования литиевых батарей в составе энергетической системы судна на основе возобновляемых источников энергии. В числе таких задач: оценка оптимальных параметров зарядки аккумуляторной батареи и определение режимов ее разрядки. Разработанное в рамках проекта программное обеспечение позволило провести проверку корректности математической модели, часть его будет использована в информационной системе управления яхтой.

Таким образом, в настоящей работе представлены лишь некоторые итоги проектирования и исследования энергетической системы яхты на основе возобновляемых источников энергии. Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что они в полном объеме могут быть использованы в подобных решениях для проектирования экологических транспортных средств.

Проект «Инновационная яхта с гибридным приводом питания от возобновляемых источников энергии (REP SAIL)» финансируется Национальным центром исследований и развития в рамках программы ERA – NET TRANSPORT. Настоящая публикация подготовлена при финансовой поддержке Отделения информационных и мехатронических систем (SIMT) Факультета транспорта Варшавского политехнического университета.

## Литература

1. Сайт Факультета транспорта Варшавского политехнического университета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wt.pw.edu.pl/>. Дата доступа: 15.04.2016.
2. Koniak Marcin, Czerepicki Andrzej, Kras Bartek, Kwiatkowski Maciej: Dobór technologii akumulatorów do zasobnika energii współpracującego ze ściśle określonym zespołem odbiorców. Metoda pomiarowo – symulacyjna, w: Maszyny Elektryczne: zeszyty problemowe, Branżowy Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Maszyn Elektrycznych "Komel", nr 1, 2014, 115 – 118
3. Koniak Marcin, Tomczuk Piotr, Czerepicki Andrzej, Jaskowski Piotr: Koncepcja stanowiska do badań eksploatacyjnych ogniw chemicznych stosowanych w elektrycznych środkach transportu, w: Logistyka: czasopismo dla profesjonalistów, Instytut Logistyki i Magazynowania, nr 4, 2015, ss. 475 - 480

УДК 504.75.06

### О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ КРУПНЫХ ГОРОДОВ

О.Н. Ларин<sup>1</sup>, Д.Э. Тарасов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский институт стратегических исследований,  
Москва, Россия;

<sup>2</sup>Московский государственный университет путей  
сообщения Императора Николая II,  
Москва, Россия

*Рассматриваются вопросы вредного воздействия автомобильного транспорта на экологию крупных городов на фоне озабоченности международного сообщества проблемами и глобального изменения климата от парниковых газов. Приведены дефиниции системных понятий применительно к задачам развития транспортных систем городов. Содержатся экспертные оценки о перспективах внедрения в крупных городах экологических видов транспорта.*

## Введение

Одна из основных задач внедрения интеллектуальных транспортных систем связана с необходимостью улучшения экологической обстановки. Задачи снижения негативного воздействия транспорта на экологию обсуждались на 21-й Климатической конференции Организации Объединённых Наций в Париже в 2015 году. Конференции по климату проводятся ежегодно и являются своеобразным механизмом реализации положений Рамочной конвенции ООН об изменении климата, подписанной практически всеми странами мира. По данным международных исследований, вклад транспорта в глобальное потепление превышает 30 % от всех выбросов, вызванных сжиганием ископаемого топлива. Учитывая характер и масштаб проблемы, Генеральный секретарь ООН Пан Ги Мун призывал правительства всех стран мира «сделать мудрый выбор и пойти по низкоуглеродному пути».