

## **РАЗРАБОТКА АВАН-ПРОЕКТА ПРОГУЛОЧНО-ПЕРЕПРАВОЧНОГО СУДНА С ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ**

**Хрунков С.Н., Куракин К.А., Локтев А.В., Жуков А.Е.**

*ФГБ ОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е.Алексеева», Нижний Новгород, Россия (603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24), e-mail: tseu@nntu.nnov.ru*

**Разработаны основные конструктивные решения пассажирского речного транспортного средства с электроэнергетической установкой. Выполнено технико-экономическое обоснование предлагаемого аван-проекта. Описаны технические характеристики и особенности литий-ионных аккумуляторов. Выполнено сравнение литий-ионных аккумуляторов со свинцово-кислотными аккумуляторами, а также выделены их основные преимущества и недостатки. Рассмотрены тенденции развития электротранспорта в России и в мире и дано экономическое обоснование. Дана оценка строительной стоимости судов, произведены экономические расчёты эксплуатационных затрат. Проанализирована транспортная ситуация в городе Нижний Новгород и составлены предполагаемые маршруты следования разрабатываемых пассажирских судов. Описан ряд судостроительных предприятий, способных подготовить рабочую документацию и осуществить серийную постройку разрабатываемых судов. Рассмотрены сильные и слабые стороны проекта, учтены возможные риски.**

Ключевые слова: электротранспорт, водоизмещающие суда, электродвигатель, аккумуляторы.

## **DEVELOPMENT AN AVAN-PROJECT OF THE WALKING-FERRYING VESSEL WITH ELECTRICAL POWER INSTALLATION**

**Khrunkov S.N., Kurakin K.A., Loktev A.V., Zhukov A.E.**

*Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia (603950, Nizhny Novgorod, Minin street, 24), e-mail: tseu@nntu.nnov.ru*

**We developed the main constructive solutions of the passenger river vehicle with electrical power installation.**

**We have done the feasibility study on an offered avant-project. We described technical characteristics and features of lithium - ion accumulators. We have done the comparison of lithium - ion accumulators with lead-acid accumulators, and also marked out their main advantages and shortcomings. We considered tendencies of development of electric transport in Russia and in the world and considered and their economic justification. We gave the assessment of construction cost of vessels. We made economic calculations of operational expenses. We analysed the transport situation in the Nizhny Novgorod and made estimated routes of developed passenger vessels. We described a number of the ship-building enterprises, capable to prepare working documentation and to carry out serial construction of developed vessels. We considered strong and weak parts of the project and possible risks.**

Keywords: electric transport, water-displacing vessels, electric engine, accumulators.

Мировой научно-технический прогресс направлен на развитие электротранспорта. За последнее десятилетие большое развитие получили не только гибридные легковые автомобили, но и городской электрический пассажирский транспорт на аккумуляторных батареях. Это связано с созданием аккумуляторных батарей нового поколения. В России в Новосибирске с участием РОСНАНО создано крупное производство необходимых для этого литий-ионных аккумуляторных батарей. В Нижнем Новгороде имеется острая необходимость организации речных пассажирских перевозок, например, по маршрутам Автозавод – Речной вокзал, Сормово – Речной вокзал, а также переправ через крупные реки в Нижнем Новгороде

и в Нижегородской области – Бор, Балахна, Сокольское, Павлово и другие. Имеется спрос на организацию туристических и прогулочных маршрутов для гостей и жителей города, особенно в преддверии чемпионата мира по футболу в 2018 году. Аналогичные потребности существуют и в других городах Приволжского федерального округа и России – Казань, Самара, Саратов.

### **Цель исследования**

Целью настоящего исследования является использование географических конкурентных преимуществ Нижнего Новгорода для решения транспортной проблемы в городе и в области, развития туризма и обеспечения загрузки судостроительных производств Нижнего Новгорода. Для этого необходимо создание аван-проекта пассажирских речных транспортных средств с принципиально новой энергетической установкой вместимостью 25 человек и 50 человек, а также технико-экономическое обоснование постройки и эксплуатации таких судов. Научной новизной проводимого исследования является применение современных тяговых литий-ионных аккумуляторов и электрического двигателя для обеспечения движения речного судна.

### **Материал и методы исследования**

Суть предложения заключается в следующем. Будут разработаны основные конструктивные решения и технико-экономическое обоснование пассажирского речного транспортного средства с принципиально новой энергетической установкой на электрической тяге от сверхмощных тяговых аккумуляторов. Эти суда предназначены для пассажирских речных переправ, а также в качестве дополнительного городского водного транспорта и как прогулочные суда. Новизна предполагаемого технического решения заключается в следующем. На существующих судах рассматриваемого класса для обеспечения движения используются двигатели внутреннего сгорания, как и в автомобилях. Предлагаемая конструкция судна будет оборудована электродвигателем, работающим от аккумуляторной батареи. Возможность создания такой энергетической установки в настоящее время стало возможным в связи с появлением аккумуляторов нового типа – литий-ионных. Для выпуска таких тяговых аккумуляторов в Новосибирске создано совместное мероприятие (с участием РОСНАНО) ООО «ЛИОТЕХ». Особенностью этих аккумуляторов ёмкостью 300 А\*ч является то, что они при повышенной ёмкости имеют небольшие габариты: 162x114x349 мм (для сравнения обычный аккумулятор на 280 А\*ч имеет габариты 995x684x460 мм). Эти аккумуляторы предназначены для различных транспортных средств в качестве тяговых. С другой стороны, рассматриваемые типы судов (переправочные и используемые в качестве

городского речного транспорта) по специфике эксплуатации обеспечат возможность периодической подзарядки, например, ночью.

Предлагаемое техническое решение дает целый ряд преимуществ. Самое главное – уменьшение эксплуатационных расходов: стоимость эксплуатации электробусов (то есть автобусов с аккумуляторами) более чем в 5 раз ниже стоимости эксплуатации автобусов с двигателями внутреннего сгорания. Применение электроэнергетической установки резко снижает шумность и в целом делает транспорт экологическим за счет отсутствия вредных выхлопов. То, что электротранспорт является хорошим решением экологических и транспортных проблем, уже давно не является предметом споров. Развитие этого вида транспорта является общемировым трендом. Наибольших успехов в этом достиг Китай, где имеются долгосрочные государственные программы по развитию электротранспорта, где производится наибольшее число электрокаров всех типов. У нас в стране развитие этого вида транспорта тоже набирает обороты. Хороший опыт применения имеют Новосибирск, Барнаул, где уже несколько лет эксплуатируются троллейбусы на автономном ходу (с литий-ионными аккумуляторами). Первый российский электробус создан на базе троллейбуса ЗАО «ТРОЛЗА» (г. Энгельс Саратовской области). Его характеристики: пробег без подзарядки 175 км, ресурс аккумуляторов 600 тысяч км. Выпускается электробус ЛИАЗ-6274 также с аккумуляторами «Лиотех», который имеет электродвигатель 180 кВт и пробег на одной зарядке 200 км. Другой пример-электробус НЕФАЗ-52992 также имеет пробег 200 км на одной подзарядке. Все это свидетельствует о том, что пассажирский транспорт с предлагаемым типом энергетической установки, с технической и экономической точек зрения, при поддержке администрации регионов все больше заявляет о себе.

Проектами создания инфраструктуры для городского электротранспорта (электрокаров) занимаются в Москве, Санкт-Петербурге, Казани, Белгороде, Ростове-на-Дону и в других регионах. Выгода замены автобусов на электробусы очевидна, т. к. практика показывает, что годовые затраты на топливо городского автобуса составляет 750-800 тыс. рублей, а такой же электробус на зарядку требует только 150-200 тыс. рублей. Исходя из этого эксплуатация речного трамвая, который нами предлагается, также даст значительную экономию. Кроме экономических аспектов, наше предложение по созданию предлагаемого транспортного средства позволит Нижегородскому региону (как историческому центру речного судостроения) быть во главе нового направления – развития речного экологического и экономичного электротранспорта. Загрузка судостроительных заводов такой продукции для других регионов также даст импульс развитию этой отрасли [5].

Техническое предложение включает разработку двух аван-проектов переправочно-прогулочных судов вместимостью 25 человек и 50 человек с электроэнергетической установкой с литий-ионными аккумуляторами. Аван-проект включает в себя:

- разработку архитектурно-конструктивного типа судна и главных размерений;
- технические решения по энергетической установке с литий-ионными аккумуляторами;
- технические решения по береговому обеспечению зарядки аккумуляторов;
- оценку строительной стоимости судна;
- экономические расчеты эксплуатационных затрат;
- предложения по предприятию-строителю судна.

Свинцово-кислотные (СКА) и щелочные (ТНЖ) аккумуляторы имеют малый ресурс, что приводит к необходимости их регулярной замены. Негерметизированные свинцово-кислотные и щелочные аккумуляторы при заряде выделяют пары электролита и взрывоопасный газ, поэтому могут заряжаться только в специально оборудованной зарядной комнате под надзором обслуживающего персонала. Содержание зарядной комнаты и обслуживающего персонала – это значительные затраты, существенно удорожающие эксплуатацию электротранспорта. Существуют герметичные – гелиевые – модели свинцово-кислотных аккумуляторов, однако их срок службы меньше, а стоимость их на 40-60% выше, чем у обычных тяговых аккумуляторов. Негерметичные аккумуляторы неизбежно становятся источником загрязнения воздуха в машинном отделении, а также причиной ускоренной коррозии корпуса судна. Преимущества использования литий-ионных АКБ в энергетических установках речных судов можно увидеть из таблицы 1.

Таблица 1

Сравнение аккумуляторов разных типов

Критерий	Свинцово-кислотны е АКБ	Литий-ионные АКБ
Ёмкость (Вт/кг)	25	110
Ток разряда (при котором АКБ отдаёт всю ёмкость)	0,1С (10% от тока ёмкости)	3С (300% от тока ёмкости)
КПД	80%	97%
Количество циклов разряда – заряда	700	5000
Срок годности – или период эксплуатации	5 лет	25 лет
Стоимость, в среднем	35 руб. за 1 Ач.	140 руб. за 1 Ач.

В качестве прототипа для судна с пассажироместимостью 25 человек используем проект катамарана С-109 с полным водоизмещением  $D = 107$  т.

Для судна с пассажироместимостью 50 человек используем проект 245 пассажирского теплохода «Нахимовец» с полным водоизмещением  $D = 122$  т.

Планируется три маршрута:

- 1) Автозавод – Речной вокзал. Протяженность  $\approx 17$  км.
- 2) Сормово – Речной вокзал. Протяженность  $\approx 7$  км.
- 3) Речной вокзал – Бор. Протяженность  $\approx 4$  км.

Определяем экономически приемлемое время перехода. Исходя из условий конкуренции с наземными транспортными средствами, которые обеспечивают перемещение пассажиров из Автозавода до Речного вокзала на расстояние 16 км в течение 38 минут, из Сормово до Речного вокзала на расстояние 11 км в течение 25 минут и из Речного вокзала до г. Бор на расстояние 20 км в течение 50 минут, делаем вывод, что скорость хода разрабатываемого судна должна быть  $\approx 24$  км/ч. Для обеспечения заданной скорости хода необходимо иметь энергетическую установку соответствующей мощности. Определим необходимую мощность главного двигателя по формуле адмиралтейских коэффициентов. Для прототипа С-109 адмиралтейский коэффициент составляет:

$$C_{np} = \frac{\sqrt[3]{D_{np}^2 * V_{np}^3}}{N_{np}} = \frac{\sqrt[3]{107^2 * 18^3}}{250} = 525,81$$

Необходимая мощность главного двигателя проектируемого судна:

$$N = \frac{\sqrt[3]{D^2 * V^3}}{C_{np}} = \frac{\sqrt[3]{107^2 * 24^3}}{525,81} = 592,6 \text{ кВт} \approx 600 \text{ кВт}$$

Для прототипа 245 пассажирского теплохода «Нахимовец» адмиралтейский коэффициент составляет:

$$C_{np} = \frac{\sqrt[3]{D_{np}^2 * V_{np}^3}}{N_{np}} = \frac{\sqrt[3]{122^2 * 20^3}}{220} = 894,49$$

Необходимая мощность главного двигателя проектируемого судна:

$$N = \frac{\sqrt[3]{D^2 * V^3}}{C_{np}} = \frac{\sqrt[3]{122^2 * 24^3}}{894,49} = 396 \text{ кВт} \approx 400 \text{ кВт}$$

На основе полученных мощностей осуществляем подбор электродвигателя. Для судна с пассажироместимостью 25 человек выбираем 2 асинхронных двигателя с фазным ротором АК312-39-6УХЛ4 с мощностью 320 кВт, частотой вращения 1000 об/мин, КПД 92,5 %, коэффициентом мощности 0,86, массой 2810 кг. Масса обоих 5620 кг. Для судна с

пассажировместимостью 50 человек выбираем асинхронный двигатель с фазным ротором АК312-32-4УХЛ4 с мощностью 400 кВт, частотой вращения 1500 об/мин, КПД 93,5 %, коэффициентом мощности 0,89, массой 2620 кг.

В качестве питающих аккумуляторов используем литий-ионные аккумуляторы компании «Лиотех» LT-LFP 300 номинальной ёмкостью 300 А\*ч. Номинальное напряжение аккумуляторов 3,2 В, габаритные характеристики 162x114x349 мм. Исходя из того, что запаса хода судна должен составлять 2 часа, для питания электродвигателя мощностью 320 кВт потребуется 668 аккумуляторов. На судно с пассажировместимостью 25 человек будет установлено 2 двигателя по 320 кВт, следовательно, потребуется 1336 аккумуляторов. Учитывая массу одного аккумулятора  $\approx 9$  кг, суммарная масса аккумуляторов будет составлять 12024 кг. На судно с пассажировместимостью 50 человек будет установлен 1 двигатель мощностью 400 кВт, для его питания потребуется 834 аккумулятора. Суммарная масса аккумуляторов будет составлять 7506 кг.

Для определения массы и экономичности всей установки проведём сравнение выбранных электродвигателей с двигателями внутреннего сгорания. Аналогичный ДВС мощностью 320 кВт имеет массу 1160 кг и расход топлива 77,9 л/ч. ДВС мощностью 400 кВт имеет массу 1345 кг и расход топлива 93,7 л/ч [3]. Учитываем, что на судно с пассажировместимостью 25 человек будет установлено 2 двигателя, а на судно с пассажиро-местимостью 50 человек – один. Примем массу пропульсивного комплекса, куда будут входить гребной винт, гребной вал, подшипники и арматура гребного вала, равной 500 кг [4].

Для судна с пассажировместимостью 25 человек вся установка будет состоять из двух электродвигателей массой 2810 кг каждый; 1336 аккумуляторов суммарной массой 12024 кг; двух преобразователей напряжения, двух инверторов и двух силовых трансформаторов суммарной массой  $\approx 6000$  кг; двух пропульсивных комплексов суммарной массой 1000 кг. Масса данной установки будет составлять 24644 кг. Если использовать двигатель внутреннего сгорания, то установка будет состоять из двух ДВС массой 1160 кг каждый, двух топливных цистерн суммарной массой 300 кг, двух пропульсивных комплексов суммарной массой 1000 кг. Масса установки будет составлять 3620 кг.

Для судна с пассажировместимостью 50 человек установка будет состоять из одного электродвигателя массой 2620 кг; 834 аккумуляторов суммарной массой 7506 кг; преобразователя напряжения, инвертора и силового трансформатора суммарной массой  $\approx 3000$  кг; пропульсивного комплекса массой 500 кг. Масса данной установки будет

составлять 13626 кг. Если использовать двигатель внутреннего сгорания, то установка будет состоять из одного ДВС массой 1345 кг, топливной цистерны массой 200, пропульсивного комплекса массой 500 кг. Масса установки будет составлять 2045 кг.

Принимая стоимость дизельного топлива  $\approx 33$  рубля за 1 л, оценим затраты на топливо для обеспечения хода судна в течение 1 часа. Для судна с пассажироместимостью 25 человек затраты будут составлять 5141,4 рубля в час. Для судна с пассажироместимостью 50 человек затраты будут составлять 3092,1 рубля в час.

Принимая стоимость 1 кВт электроэнергии  $\approx 4$  рубля, оценим стоимость зарядки аккумуляторов для обеспечения работы электродвигателей в течение 1 часа. Для судна с пассажироместимостью 25 человек затраты будут составлять 2565,2 рубля. Для судна с пассажироместимостью 50 человек затраты будут составлять 1601,3 рубля.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

В Нижнем Новгороде существует целый ряд КБ, способных на основе аван-проекта подготовить рабочую документацию для постройки серии судов, – КБ «Вымпел», ООО «Ситех», ООО «Минибот». Также существуют судостроительные предприятия и научные коллективы [1, 2], способные осуществить серийную постройку данных судов для нужд Нижнего Новгорода, Нижегородской области и Приволжского федерального округа – ОАО «Завод «Красное Сормово», ОАО «Городецкая судостроительная верфь» и другие. Есть примеры успешной постройки туристических судов на дизель-электрических генераторах – теплоход «Сура» фирмы ООО «ГАМА». Нижегородский регион насыщен квалифицированным персоналом, работающим в организациях, имеющих признание на выполнение проектных работ со стороны Российского Регистра. Весьма развит и платежеспособный спрос на корпоративные и частные речные прогулки в течение светлого времени суток (без ночевки) в Нижнем Новгороде. Выполненный SWOT-анализ проекта показал следующее.

#### **Сильные стороны:**

- Высокая квалификация коллектива.
- Применение новых, но уже существующих, технологий в судостроении.
- Повышение экономичности и экологичности речных перевозок, участие в мировом НТП.

#### **Слабые стороны:**

- Зависимость от речной инфраструктуры.
- Длительный срок пополнения энергетического запаса аккумуляторов.
- Необходимость технической подготовки эксплуатирующего персонала.

#### **Возможности:**

- Организация прогулочных маршрутов к ЧМ-2018.
- Организация пассажирских перевозок и переправ в Нижнем Новгороде и в области.
- Организация производства продукции для Приволжского федерального округа.

#### **Угрозы:**

- Сезонность эксплуатации.
- Конкуренция со стороны автомобильного транспорта и канатных переправ.
- Недостаточный объем туристов.

#### **Заключение**

Предложенный аван-проект является конкурентно способным и может обеспечить решение транспортных проблем в городе и в области, развитие туризма, а также обеспечение загрузки судостроительных производств Нижнего Новгорода.

#### **Список литературы**

1. Волков В.М., Жуков А.Е. Исследование поведения судовых пластин с центральными сквозными трещинами // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева – 2010. - №1. – С. 164-168.
2. Волков В.М., Миронов А.А., Жуков А.Е. Предельная прочность, надёжность и остаточный ресурс тонкостенных конструкций с повреждениями // Вестник Волжской Государственной академии водного транспорта – Н. Новгород: Изд-во Волжская государственная академия водного транспорта, 2006. - №16. – С. 36-51.
3. Захаров Л.А., Захаров И.Л., Хрунков С.Н. Моделирование смесеобразования и горения в рабочей камере поршневого двигателя внутреннего сгорания // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2010. - №2. – С. 178-186.
4. Хрунков С.Н. Повышение технико-экономических показателей поршневого двигателя за счёт совершенствования механизма газораспределения // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Н. Новгород, 2001. – 227 с.
5. Хрунков С.Н. Современные технологии в кораблестроительном и авиационном образовании, науке и производстве // Доклады Всероссийской научно-технической конференции – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. гос. техн. ун-та, 2009. – 455 с.

#### **Рецензенты:**

Зуев В.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Кораблестроение и авиационная техника» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.



Ваганов А.Б., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Аэро- гидродинамика, прочность машин и сопротивление материалов» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.