

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.68

О.А. Бурмакин, Ю.С. Малышев, Ю.В. Варечкин, И.В. Сычушкин

### ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВЫХ ВЕТРОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК

Волжская государственная академия водного транспорта

**Цель:** Определить эффективность применения судовых ветрогенераторных установок.

**Научный подход:** Исследование проведено как численно, так и аналитически.

**Результат:** Рассмотрены перспективы внедрения ветроэнергетической установки на судах Северного флота, а также применение валогенераторной установки с целью снижения себестоимости электроэнергии. Определены экономические и экологические показатели внедрения альтернативных источников энергии на судно.

**Вывод:** Применение ветроэнергетической установки на судне в совокупности с валогенераторной энергетической установкой значительно снижает потребление топлива, стоимость электроэнергии и уменьшает вредное влияния на окружающую среду.

*Ключевые слова:* альтернативный источник энергии, валогенераторная установка, экономия электроэнергии, ветроэнергетическая установка

В связи с ростом цен на топливо все актуальнее встает вопрос об энергосбережении и использовании на судах различных альтернативных источников энергии. Одним из таких источников являются установки, преобразующие энергию ветра.

Сегодня существует достаточно много различных проектов судовых ветродвижителей и ветродвигателей, как реализованных, так и находящихся на стадии разработок. Наиболее целесообразным вариантом является установка на морских и речных судах ветродвижителя как дополнения к основному механическому двигателю. Это даст 25-30 % экономии топлива и обеспечит судам вполне приемлемую скорость в 16 узлов, а кроме того, позволит вместо мощной энергетической установки применять сравнительно небольшую [1].

Ветрогенераторы на судах практически не применяются, однако, с точки зрения электроэнергетики, использование ветроэнергетической установки (ВЭУ) для электропитания судовых потребителей может быть перспективной областью для исследований. Мощность судовой ВЭУ ограничена габаритами и характеристиками судна. Поэтому наиболее выгодно, по мнению авторов, обеспечить совместную работу ВЭУ и валогенераторной установки (ВГУ) морских судов для самого продолжительного по времени и малого по электрической нагрузке ходового режима, а также для стояночного режима. В качестве ветродвигателя наиболее предпочтительны спиральные ветровые турбины. Они производят до 50% больше электроэнергии в год по сравнению с генераторами с горизонтальной осью вращения и вырабатывают электроэнергию при скорости ветра от 1 до 60 м/с, выдерживают мороз, лед, песок и влажность [2, 3]. Экономически обоснованным будет применение ВЭУ и судов, оснащенных ВЭУ, в северных и восточных районах России, где среднегодовые скорости ветров превышают 5 м/с.

Для оценки экономической эффективности применения ВЭУ на сухогрузном теплоходе грузоподъемностью 1000 т, мощностью 800 э.л.с., класса "М". Проект Фин. 1000/800, будем пользоваться следующими показателями:

- капиталовложения;
- себестоимость электроэнергии;

- расход топлива за навигационный период;
- расход денежных средств на покупку топлива;
- экономия денежных средств на покупку топлива за навигацию;
- время окупаемости проекта.

Капиталовложение в основном включает в себя стоимость комплектующих (табл. 1).

Таблица 1

Капиталовложение

№ п/п	Наименование	Тип(код заказа)	Количество, шт	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
1	Асинхронный двигатель	A250S8	2	53700	107400
2	Преобразователь частоты	Altivar 71	2	145000	290000
3	Конденсаторная установка	УКМ58-0,4-50-5 У1	1	34175	34175
4	Ветроприемник	ВВТ "ЭНЭКСИС"	1	500000	500000
5	Транзистор	IRG4PSC71UPBF	7	300	2100
6	Диод	80EPF12	12	480	5760
7	Редуктор	1Ц2У 100	2	13300	26600
8	Автоматический выключатель	A3110P	2	1000	2000
9	Автоматический выключатель	A3130	1	1300	1300
10	ИТОГ				969335

Расчет себестоимости электроэнергии проведен для следующих случаев: без подключения ВЭУ в ходовом режиме, с использованием ВЭУ в ходовом режиме на 100% и на 50% всего времени.

Среднюю себестоимость электроэнергии определяем по формуле:

$$C_{Э} = 10^{-6} C_T g \frac{t_{Э} - t_X - t_C}{t_{Э}} + 10^{-6} C_{GA} g_{GA} \frac{t_X}{t_{Э}} + \frac{0,15K}{A},$$

где  $C_T, C_{GA}$  – стоимость топлива, включая бункеровочные расходы (в тоннах);  $g$  – удельный расход топлива;  $g = K_T \cdot g_{НОМ}$ ;  $K_T = 0,98$  - коэффициент удельного расхода топлива;  $A$  – годовая выработка электроэнергии;

$$A = (P_x t_x + P_m t_m + P_c t_c + P_a t_a),$$

где  $P_x, P_m, P_c, P_a$  – нагрузка СЭС в ходовом, маневренном, стояночном и аварийном режимах(кВт);  $t_x, t_m, t_c, t_a$  - продолжительность режимов в течение навигационного периода(ч);  $K$  – капиталовложения;  $K = 1,5 \cdot K$  руб. ( с учетом транспортных и монтажных работ).

Снижение себестоимости электроэнергии вызвано уменьшением расхода топлива дизель-генератора, использование ВГУ позволяет снизить себестоимость электроэнергии на 32%, а при использовании ВЭУ на 100% себестоимость уменьшается на 76%.

Расход топлива за навигационный период определяется по формуле:

$$Q_{п} = g t_x P_x + g t_m P_m + g t_c P_c + g t_a P_a.$$

Таким образом, при загрузке ВЭУ на 100% ее возможностей расход топлива снижается на 34,65т за навигацию. При использовании ВГУ тоже наблюдается снижение расхода топлива. Оно вызвано меньшим удельным расходом топлива главным двигателем по сравнению с дизель-генератором. Однако нельзя забывать, что в этом случае нагрузка на главный двигатель увеличивается.

Расходы денежных средств на покупку топлива:

$$B = Q_{п} \cdot C_T.$$

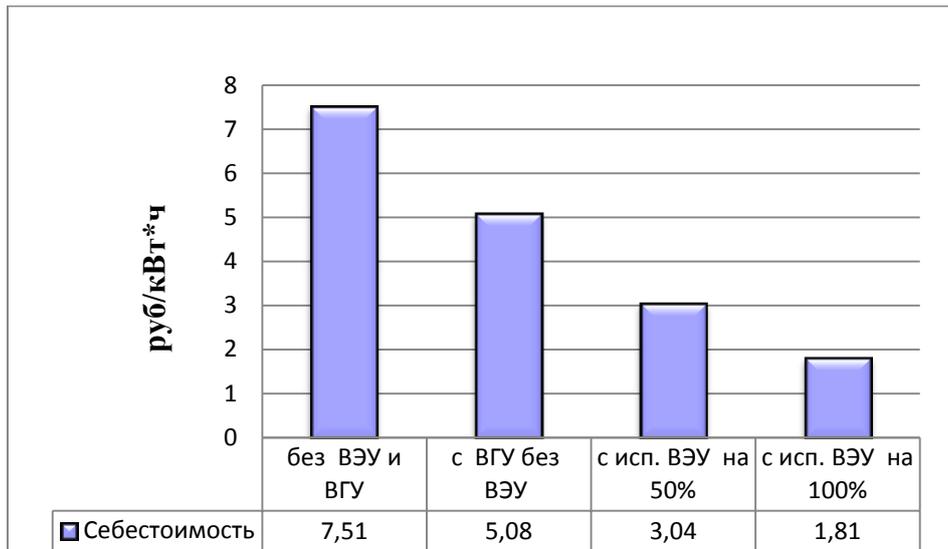


Рис. 1. Себестоимость электроэнергии

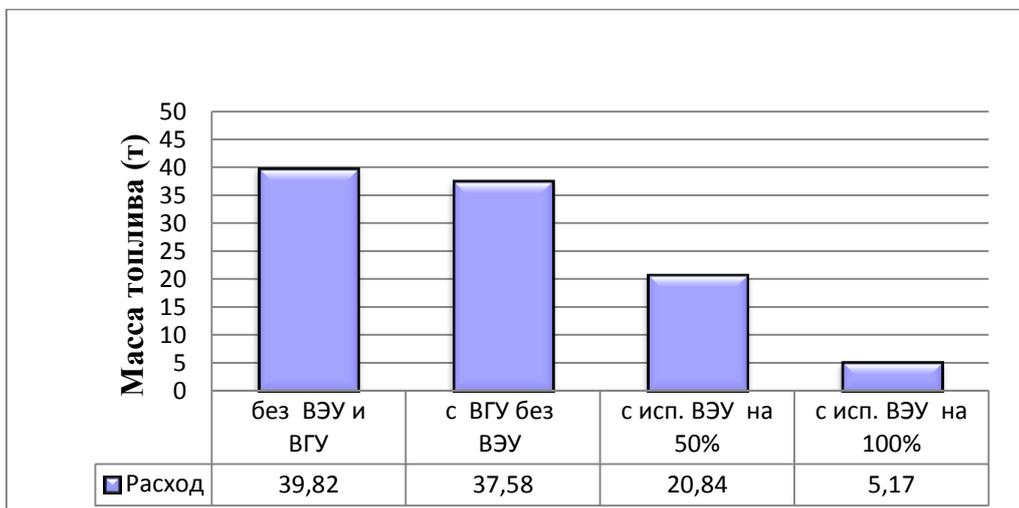


Рис. 2. Расход топлива

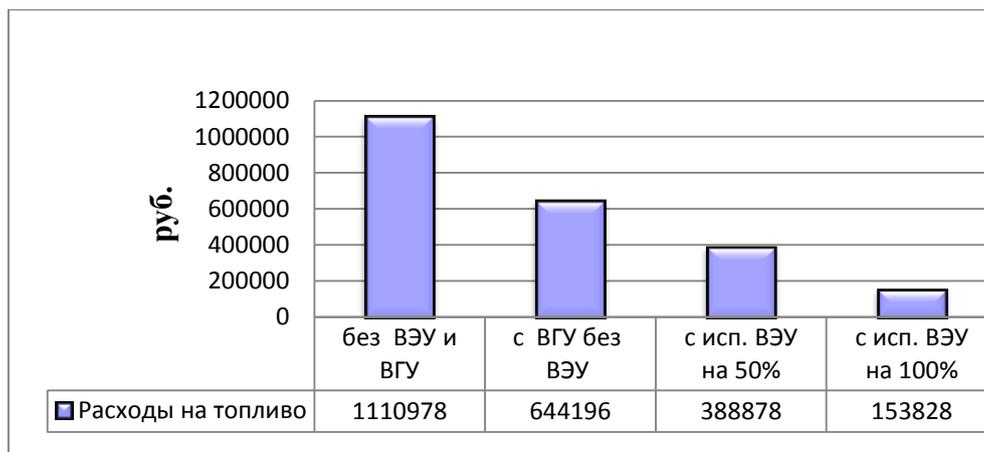


Рис. 3. Расход денежных средств на покупку топлива

Расчет производится с учетом, что стоимость дизельного топлива за тонну для валогенератора составляет 15000 руб., а для дизель-генератора 27900 руб.

Экономия денежных средств на покупке топлива за навигацию

$$\Delta B = B - B_1,$$

где  $B_1$  – расход на топливо при использовании энергосберегающих средств ВЭУ и ВГУ.

Расчет окупаемости данного проекта

$$OK = \frac{K}{\Delta B}$$

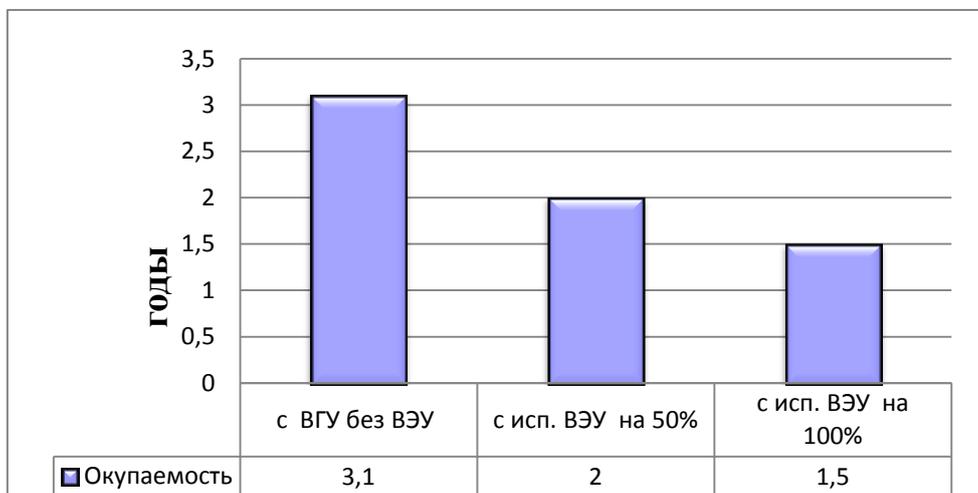


Рис. 4. Окупаемость проекта

Срок окупаемости проекта внедрения судовой ВЭУ уменьшается в два раза по сравнению со сроком окупаемости ВГУ.

### Экологическая безопасность

#### *Воздействие на окружающую среду*

В данном проекте разрабатывается электростанция для сухогрузного судна, в состав которой входит валогенераторная и ветроэнергетическая установка. При эксплуатации данного судна с такой электростанцией возникает выброс в атмосферу продуктов горения и воздействие на окружающую среду электромагнитного поля

Количественные и качественные характеристики искусственного ЭМП существенно отличаются от значений, к которым человек и другие объекты биосферы приспособились в течение эволюции, поэтому могут вызвать функциональные нарушения, в связи с этим вполне справедлива постановка вопроса об оптимизации электромагнитных воздействий.

Воздействие напряженности ЭМП на окружающую среду связано с возникновением заряда на предметах, не имеющих связи с землёй. В соответствии с санитарными нормами плотность электромагнитного излучения внутри жилой зоны должна быть не более 0,5 кВ/м, так как электростанция находится в машинном отделении, излучения в окружающую среду практически не будет (настолько мало, что с трудом поддается измерению).

#### *Расчет выбросов продуктов горения в атмосферу за навигационный период*

Наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносят отработавшие газы двигателей. Количество ингредиентов и их масса зависит при прочих равных условиях от сорта и массы сжигаемого топлива.

Масса каждого компонента рассчитывается по формуле:

$$M = gQ,$$

где  $M$  – масса выбрасываемого вещества, кг;  $g$  – удельное содержание вещества в одной тонне сжигаемого топлива, кг/т;  $Q$  – масса сжигаемого топлива за рассматриваемый промежуток времени, т.

Расчет выбросов вредных веществ выполняем с учетом расхода топлива без использования ВЭУ и ВГУ ( $Q=43,18$  т/нав.) при использовании ВЭУ и ВГУ на 50% ( $Q=25,2$  т/нав.) и на 100%  $Q=7$  т/нав. Результаты расчетов сведены в табл. 2.

Таблица 2

## Результаты расчетов выбросов вредных веществ

Выбрасываемое вещество	Удельное содержание вещества в одной тонне сжигаемого топлива, кг/т	Масса выбрасываемого вещества без ВЭУ и ВГУ, кг/нав	Масса выбрасываемого вещества при использовании ВЭУ и ВГУ на 50%, кг/нав	Масса выбрасываемого вещества при использовании ВЭУ и ВГУ на 100%, кг/нав
Оксид серы	3,9	168,4	98,2	27,3
Оксид углерода	25,6	1105,4	645,12	179,2
Оксид азота	68,1	2940,5	1716,1	476,7
Углерод	18,1	781,5	456,12	126,7
Сажа	0,9	38,86	22,68	6,3
Бенз-а-пирен	0,006	0,26	0,15	0,042
CO <sub>2</sub>		38862	22680	6300

Доля выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу составляет 90% от массы сжигаемого топлива, поэтому расчет проводится по формуле:

$$M = Q \cdot 0,9.$$

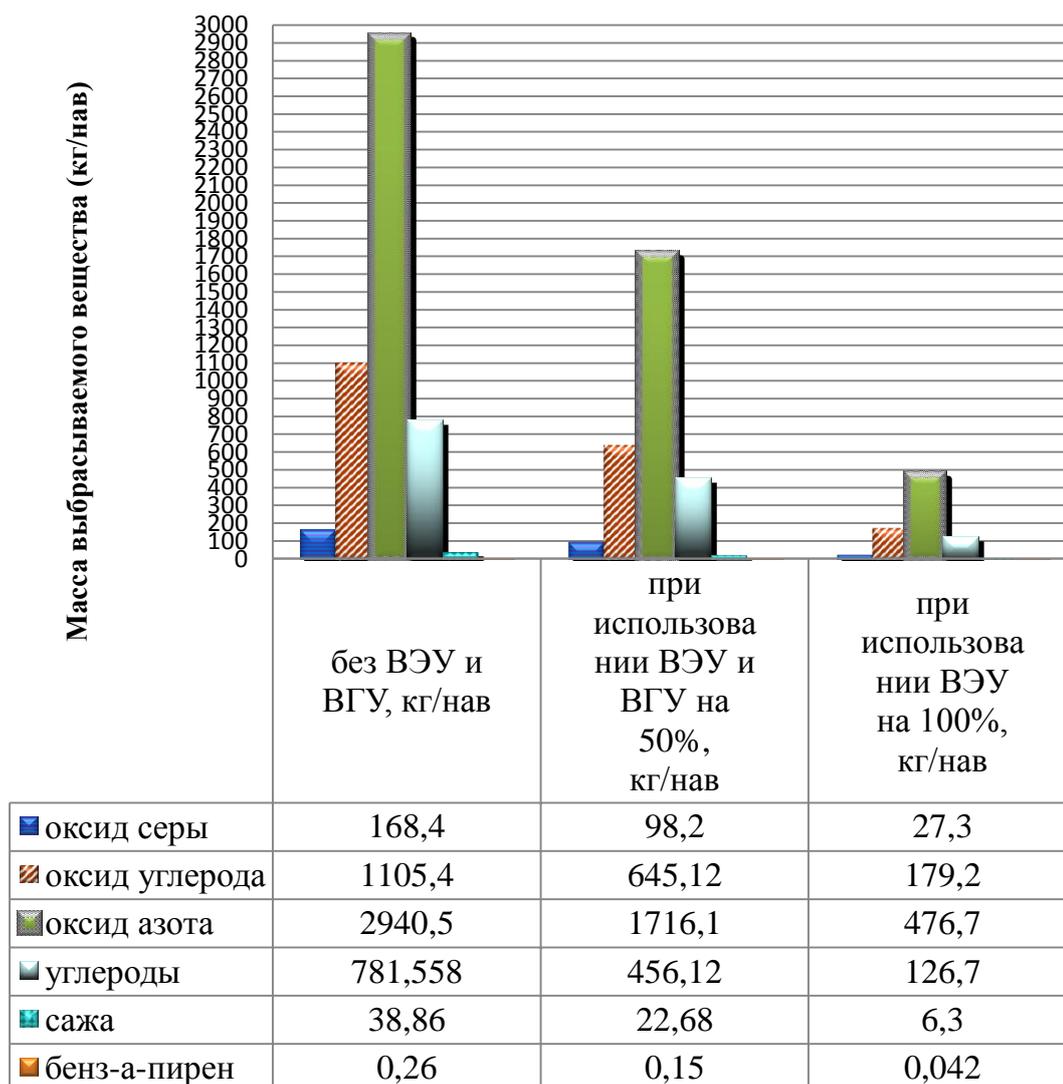


Рис. 5. Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ

Таким образом, применение ветроэнергетической установки на судне в совокупности с валогенераторной энергетической установкой значительно снижает потребление топлива и, как следствие, уменьшает стоимость электроэнергии, кроме того, электростанция с ВЭУ и ВГУ с учётом мероприятий по ограничению воздействий не оказывает вредного влияния на окружающую среду и является экологически безопасной.

#### Библиографический список

1. **Городов, Р.В.** Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учеб. пособие / Р.В. Городов, В.Е. Губин, А.С. Матвеев. – 1-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 294 с.
2. <http://helixturbineenergy.com/>
3. <http://greenpeace.narod.ru/windpwr.htm>

*Дата поступления  
в редакцию: 22.04.2014*

**O.A. Burmakin, Yu.S. Malyshev, Yu.V. Varechkin, I.V. Sychushkin**

#### **SUBSTANTIATION OF THE EFFECTIVENESS OF SHIPS WIND GENERATOR INSTALLATIONS**

Volga state academy of water transport

**Purpose:** The definition of efficiency of application of marine wind installations.

**Approach:** Investigation was conducted both numerically and analytically.

**Findings:** The prospects of introduction of wind power plants on ships of the Northern fleet, as well as the application shaft generator units to reduce the cost of electricity. Defined economic and ecological parameters of the alternative energy sources on the vessel.

**Originality/value:** the use of wind power plants on the ship together with shaft generator power plant significantly reduces fuel consumption, energy cost and reduces harmful influence on the environment.

*Key words:* alternative energy source, shaft generator sets, saving energy, wind power sets.