



УДК 621.472(043)

**COMPOUND SHIP WITH A PHOTOELECTRIC POWER PLANT  
СОСТАВНОЕ СУДНО С ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИЛОВОЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ****S. Khotin / С. Хотін***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-2424-9276

**A. Vasilchenko / А.Васильченко**

assistant/асистент

ORCID: 0000-0002-8480-0384

*Odessa National Maritime University, Odessa, Mechnikova 34, 65029**Одесский национальный морской университет, Одесса, ул.Мечникова 34, 65029*

**Аннотация.** В работе определяются технические и эксплуатационные характеристики составного судна класса «река-море», оснащённого фотоэлектрической силовой энергетической установкой. Выполнены конструктивно-технические расчёты, позволяющие установить необходимую мощность двигателя, обеспечивающего движение судна с заданными скоростями. Кроме того определены расстояния, которые способно пройти судно в различных скоростных режимах на суточном заряде аккумуляторов за счёт фотобатарей и обоснована целесообразность промышленной эксплуатации таких судов на речных маршрутах.

**Ключевые слова:** баржа, судно, фотоэлектрические системы, двигатель, мощность, расчёт, солнечная радиация, скорость, сопротивление.

Весьма перспективной является применение гелиоэнергетических систем на морском транспорте и соответствующие научные разработки в такой сфере как гелиоэнергетические системы для обеспечения тепловой и электрической энергией судов без традиционных энергетических установок на основе фотоэлектрических энергосистем.

При этом большой интерес представляет оснащение гелиоэнергетическими системами крупных безмоторных судов, таких как баржи. Площадь надводной поверхности барж в зависимости от их размеров может достигать 4000 м<sup>2</sup> и более. Учитывая что максимальная плотность суммарной солнечной радиации составляет в Черноморском регионе около 850 Вт/м<sup>2</sup> [1], а КПД традиционных фотоэлементов, выпускаемых промышленностью достигает 13-14%, размещение фотоэлементов на надводной поверхности таких судов позволит получать свыше 360 КВт пиковой электрической мощности. Этого вполне достаточно не только для питания бортового электрооборудования, но и для снабжения электроэнергией ходовых двигателей, способных обеспечить судну ход в несколько узлов.

Целью данной статьи является определение возможных эксплуатационно-технических характеристик барж класса река-море, оснащённых фотоэлектрическими силовыми энергосистемами и обоснование целесообразности их разработки и создания.

В качестве объекта исследования выберем модель составного судна, представляющая собой комбинацию последовательно закрепленных моделей судна-толкача проекта RSD67 и баржи RSB67. В следствии двухсекционной конструкции данное судно имеет большую площадь наружной горизонтальной



поверхности, удобной для установки фотоэлектрических батарей. Основные характеристики судна-толкача проекта RSD67 приведены в таблице 1 [2]. Теоретический чертеж судна RSD67 представлен на рисунке 1.

Таблица 1.

Основные характеристики сухогруза-толкача проекта RSD67

Величина	Обозначение	Разм.	Численное значение
			Натурное судно
Длина расчетная	L	м	139,7
Длина по КВЛ	Lwl	м	139,7
Ширина по КВЛ	B	м	17,0
Осадка	d	м	3,60
Коэффициент общей полноты	C <sub>B</sub>	-	0,926
Объемное водоизмещение	V	м <sup>3</sup>	7942,6
Весовое водоизмещение	D	т	8141,2
Смоченная поверхность	S	м <sup>2</sup>	3239,5

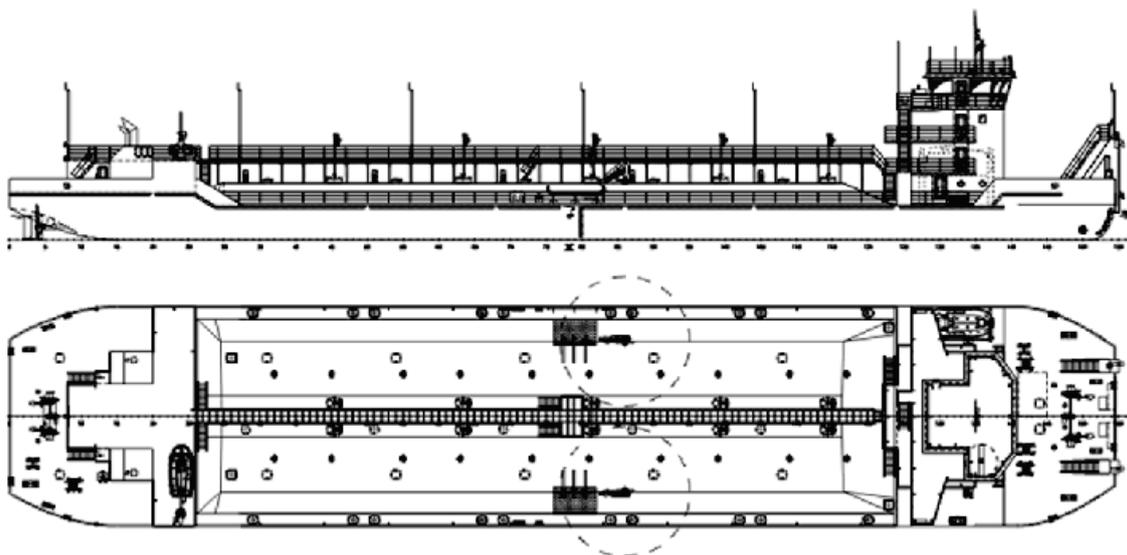


Рисунок 1. Теоретический чертеж танкера-толкача проекта RSD67

Основные характеристики баржи проекта RSB67 приведены в таблице 2. Теоретический чертеж судна RSB67 представлен на рисунке 2.

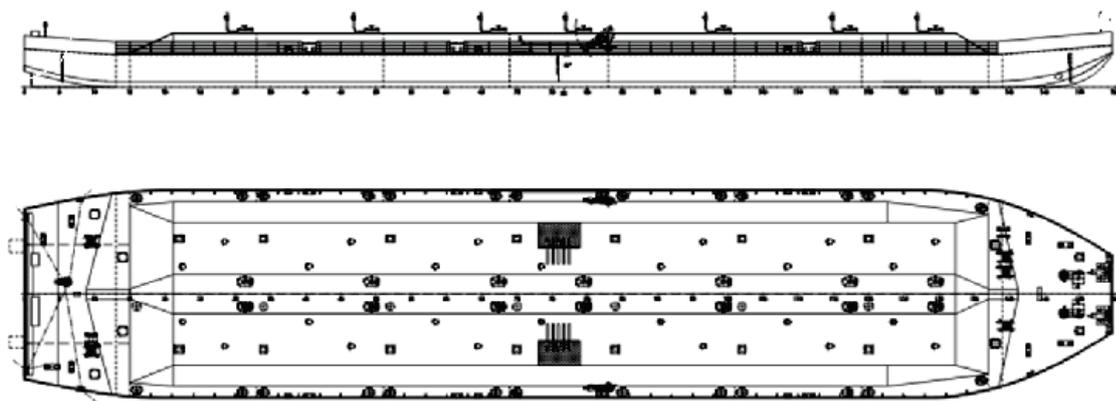


Рисунок 2. Теоретический чертеж баржи проекта RSB67



Основные характеристики составного судна приведены в таблице 3.

Определим суммарные площади поверхностей составного судна, на которых могут быть смонтированы батареи фотоэлементов.

Таковыми поверхностями являются горизонтальные (палубы, крыша надстройки судна толкача) и вертикальные (верхняя часть бортов, фальшборты, стенки надстройки)

Таблица 2.

### Основные характеристики баржи проекта RSB67

Величина	Обозначение	Разм.	Численное значение	
			Натурное судно	
Длина расчетная	L	м	113,98	
Длина по КВЛ	Lwl	м	113,98	
Ширина по КВЛ	B	м	17,0	
Осадка	d	м	3,60	
Коэффициент общей полноты	C <sub>B</sub>	-	0,924	
Объемное водоизмещение	V	м <sup>3</sup>	6510,6	
Весовое водоизмещение	D	т	6673,4	
Смоченная поверхность	S	м <sup>2</sup>	2695,8	

Таблица 3.

### Основные характеристики составного судна

Величина	Обозначение	Разм.	Численное значение	
			Натурное судно	Модель
Длина расчетная	L	м	253,98	6,350
Длина по КВЛ	Lwl	м	253,98	6,350
Ширина по КВЛ	B	м	17,0	0,425
Осадка	d	м	3,60	0,090
Коэффициент общей полноты	C <sub>B</sub>	-	-	
Объемное водоизмещение	V	м <sup>3</sup>	14453,2	0,2258
Весовое водоизмещение	D	т	14814,6	0,2315
Смоченная поверхность	S	м <sup>2</sup>	5932,3	3,7077

Анализ чертежей судна-толкача и баржи показывает, что фотоэлементы могут быть смонтированы на горизонтальных поверхностях суммарной площадью примерно 3000-3200 м<sup>2</sup> и на вертикальных поверхностях суммарной площадью 600-680 м<sup>2</sup>.

Определим суточную производительность судовых фотоэлектрических батарей при условии их эксплуатации в черноморском регионе.

Суммарная мощность фотоэлементов, расположенных на горизонтальных плоскостях определяется по формуле

$$P_{\Gamma} = J_c \cdot \sin \alpha_{\Pi} \cdot S_{\Pi} \cdot \eta_{\Phi} \cdot k \quad (1)$$

где:  $J_c$  – средняя плотность суммарной солнечной радиации в течении



светового дня, Вт/м<sup>2</sup>;

$\sin\alpha_{\text{п}}$  – угол падения солнечных лучей на горизонтальную поверхность, град.;

$S_{\text{п}}$  – площадь горизонтальной рабочей поверхности фотоэлементов, м<sup>2</sup>;

$\eta_{\text{ф}}$  – КПД фотоэлементов;

$k$  – коэффициент пропускания солнечной радиации прозрачным защитным покрытием фотоэлементов

При этом  $\eta_{\text{ф}} = 14\%$ , а  $k$  принимаем равным 98%.

Среднее значение плотности суммарной солнечной радиации в течении светового дня в северной части Чёрного моря составляет 400-425 Вт/м<sup>2</sup> [1], а средний угол падения солнечных лучей на горизонтально расположенные фотоэлементы составит на протяжении эффективного светового дня около 45°.

Расчёт показывает, что среднесуточная суммарная мощность фотоэлементов, расположенных на горизонтальных плоскостях составит около 116,5-132 кВт.

Формула для определения суммарной мощности вертикально расположенных фотоэлементов примет вид

$$P_{\text{в}} = J_{\text{с}} \cdot \cos\alpha_{\text{п}} \cdot S_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{ф}} \cdot k \quad (2)$$

Согласно расчёту этот показатель будет иметь примерную величину в 23,5-28 кВт. При этом следует отметить, что при симметричном расположении вертикальных фотоэлементов из за одностороннего направления солнечных лучей одновременно смогут работать только 50% от их общего количества.

С учётом вышесказанного суммарная мощность фотоэлектрической энергосистемы установленной на судне определяется расчётным соотношением.

$$P = P_{\text{г}} + P_{\text{в}}/2 \quad (3)$$

Расчеты показывают, что её значение составит от 140 до 160 кВт.

Среднесуточную производительность вышеописанной гелиоэнергетической системы определяем по формуле [4]

$$Q = P \cdot \tau, \quad (4)$$

где  $\tau$  – продолжительность эффективного светового дня, с.

В июне-июле месяцах её величина составляет около 10 ч.

Таким образом среднесуточная производительность данной фотоэлектрической энергосистемы составит от 1400 до 1600 кВт·ч.

Определим расстояние, которое способно пройти составное судно (ход судна) при суточной зарядке аккумуляторов от фотоэлементов. Для этого воспользуемся математическим аппаратом и результатами натурных испытаний действующей модели судна.

Ход судна будет определяться затрачиваемой мощностью электродвигателей, необходимой для передвижения судна с заданной



скоростью, которая в свою очередь зависит от гидродинамического сопротивления корпуса судна. Затрачиваемая мощность определяется расчётным соотношением [5]

$$N = V_H R'_H, \quad (5)$$

где:  $V_H$  - скорость судна, м/с;

$R_H$  - сопротивление судна, кН;

$$R_H = C_{TH} \frac{\rho}{2} V_H^2 S_H, \quad (6)$$

где:  $C_{TH}$  - коэффициент полного сопротивления судна;

$$C_{TH} = C_W + (1+k)C_{fH}(\text{Re}) + C_{AP} + C_A \quad (7)$$

где:  $C_W$  - коэффициент волнового сопротивления;

$k$  - форм-фактор;

$C_{fH}$  - коэффициент сопротивления трения судна;

$\text{Re}$  - число Рейнольдса;

$C_{AP}$  - коэффициент выступающих частей;

$C_A$  - надбавка на шероховатость;

$$C_W = C_M - (1+k)C_{fM}(\text{Re}), \quad (8)$$

где  $C_M$  - базовое значение коэффициента волнового сопротивления

$$k = \frac{C_V}{C_{fM}} - 1 \quad (9)$$

где  $C_{fM}$  - коэффициент сопротивления трения модели;

$$C_{fM} = \frac{0,075}{(\log \text{Re}_M - 2)^2}, \quad (10)$$

Где  $\text{Re}_M$  - число Рейнольдса для модели

$$\text{Re}_M = \frac{V_M L_M}{\nu}, \quad (11)$$

где  $\nu$  - кинематическая вязкость жидкости.

$$C_{fH} = \frac{0,075}{(\log \text{Re}_H - 2)^2}, \quad (12)$$

$\text{Re}_H$  - число Рейнольдса для судна;

$$\text{Re}_H = \frac{V_H L_H}{\nu}, \quad (13)$$

$$C_A = \left[ 105 \left( \frac{R_{MA}}{L} \right)^{1/3} - 0,64 \right] \cdot 10^3, \quad (14)$$

где  $R_{MA} = 1,5 \cdot 10^{-4}$  - расчетная шероховатость.

Результаты расчётов сводим в табл. 4



Таблица 4.

### Результаты расчётов составного судна с осадкой 3,6 м.

$C_W$	$V_H$ , м/с	$V_S$ , уз	$Re_H$	$C_{fH}$	$C_A$	$C_{AP}$	$C_H$	$R_H$ , кН	$N$ , кВт
0,00000	2,000	3,888	3,38E+08	1,760E-03	0,000241	0,00015	0,00274	36,1	76,6
0,00000	2,500	4,860	4,12E+08	1,714E-03	0,000241	0,00015	0,00268	52,4	135,4
0,00000	3,000	5,831	4,73E+08	1,683E-03	0,000241	0,00015	0,00264	68,1	202,4
0,00000	3,500	6,803	5,33E+08	1,657E-03	0,000241	0,00015	0,00260	85,4	285,9
0,00000	4,000	7,776	5,88E+08	1,637E-03	0,000241	0,00015	0,00258	102,7	379,2
0,00004	4,500	8,747	6,37E+08	1,620E-03	0,000241	0,00015	0,00259	121,4	486,0

Расстояние проходимое судном определяется по формуле

$$L = V_h \cdot \tau_x, \quad (15)$$

Где  $\tau_x$  - время хода судна на суточной зарядке аккумуляторов за счёт Фотоэлементов.

Оно определяется формулой

$$\tau_x = Q / N \quad (16)$$

Полученные результаты показывают что при движении со скоростью 2 м/с (7,2 км/ч) оно способно на одной суточной зарядке пройти расстояние от 132 до 150 км. При движении со скоростью 3 м/с (10,8 км/ч) пройденное судном расстояние составит от 71 до 85 км, а при движении со скоростью 4 м/с (14,4 км/ч) судно пройдёт от 53 до 61 км.

Из вышеописанных исследований можно сделать вывод о том, что эксплуатация судов на базе фотоэлектрических установок без возможности сетевой зарядки целесообразна при умеренных (экономичных) скоростях до 10-11 км/ч, на речных маршрутах. Также, следует отметить, что для увеличения расстояния проходимого судном без подзарядки, его следует оснащать бортовым зарядным устройством с помощью которого будет осуществляться зарядка аккумуляторов от портовых электросетей во время стоянок. Для этого суммарная ёмкость бортовых аккумуляторов должна в 2-3 превышать среднесуточную производительность фотоэлектрической системы.

Литература:

1. Хотин С. Ю. Разработка и исследование концентрирующего коллектора с вакуумированными теплоприёмниками : дис. канд. техн. наук / С. Ю. Хотин. – К., 2001. – 185 с.
2. Каталог проектов сухогрузных судов.- Одесское морское инженерное бюро: Одесса. – 2013.
3. Хотин С. Ю. Оптимизация конструкции фотоэлектрического устройства зарядной системы для средств связи и сигнализации // Проблемы техники. - 2010. - № 3. - С. 48-54.
4. Даффи, Дж. Основы солнечной теплоэнергетики: уч.-справ. рук. / Дж. Даффи, У. Бекман. – М.: Интеллект, 2013. – 888 с.
5. Райсянин А. Г. Расчет движительного комплекса винтового судна:



учебное пособие для ВУЗов – Хабаровск: изд-во ТОГУ, 2010 – 39с.

**Abstract.** *Technical and operating descriptions of component ship of class are in-process determined "river-sea", consisting of two sections: ship-pusher of project RSD67 and barge of RSB67, that is equipped by a photo-electric power-plant. Structurally-technical calculations allowing to set day's productivity of ship photobattery in a summer period of year in the Black Sea region are executed. Necessary power is also expected engine, providing motion of ship with the set speeds. Distances that a ship is able to pass in the different speed modes on day's charge of accumulators due to photobattery are certain in addition, optimal operating speeds are here set for swimming facilities of this type. Expediency of operation and maintenance phase of such courts is in-process reasonable on river routes and in an off-shore zone.*

**Key words:** *barge, ship, photoelectric system, engine, power, calculation, solar radiation, speed, resistance.*

**References:**

1. Khotin S.U. Razrabotka I issledovanie koncentrirovannogo kollektora s vakuumirovannymi teplopriemnikami: kand. tehn. nauk / S.U. Khotin. – K., 2001. – 185 s.
2. Katalog proektov suhogruznih sudov. – Odesskoe morskoe inzhenernoe buro: Odessa. – 2013
3. Khotin S.U. Optimizacia konstrukcii photoelectrichestskogo ustroistva zaryadnoy systemi dlya sredstv svyazi i signalizacii // Problemi tehniki. - 2010. - № 3. - S. 48-54.
4. Daffi Dj. Osnovi solnechnoi teploenergetiki: uch.-sprav. ruk./ Dj. Daffi, U. Bekman – M. Intelekt, 2013. – 888 s.
5. Raisyanin A.G. Raschet dvizhitelnogo kompleksa vintovogo sudna: uchebnoe posobie dlya VUZov – Habarovsk: izd-vo TOGU, 2010. – 39 s.

Статья отправлена: 28.03.2018 г.  
© Хотин С.Ю., Васильченко А.Е.