

ОДИН ИЗ ПУТЕЙ НЕЗАВИСИМОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ УКРАИНЫ ПРИМОРСКОГО БАЗИРОВАНИЯ



Александр СОТНИКОВ
кандидат технических наук
старший научный сотрудник



Константин КАПИТАНЧУК
профессор кафедры
авиадвигателей НАУ
кандидат технических наук,
доцент



Вячеслав ОВСЯНКИН
директор НТФ «КРОК-1»

Разрушение системы энергообеспечения военных подразделений вероятного противника является одной из первоочередных задач планирования боевых операций. Поэтому при организации оборонных средств необходимо предвидеть наличие независимых автономных систем энергетического обеспечения, включая использование нетрадиционных источников энергии. Такие системы должны быть конструктивно достаточно простыми и давать возможность вооруженным силам быстро их разворачивать на местности.

Одним из путей сохранения боеспособности и повышения мобильности военных подразделений является разработка и внедрение децентрализованного энергообеспечения во всех возможных ситуациях их жизнедеятельности за счет создания облегченных модульных устройств.

По данным [1] мощность волн Мирового океана оценивается приблизительно в 10...90 млрд. кВт, из которых 2,7 млрд. кВт может быть реально использовано человечеством. Современный уровень развития техники позволяет использовать энергию морских волн лишь в прибрежных зонах, где она в среднем составляет величину в 80 кВт/м. Мощность морских волн Черного и Азовского морей еще меньше и составляет величину чуть более 40 кВт/м.

Таким образом, с каждого погонного метра фронта волны можно создать электроэнергию для обеспечения 8 коттеджей, а из фронта в 1000 м можно создать электроэнергию для 10 энергоемких объектов, находящихся как на рейде, так и на берегу, например, плавсредства на боевом дежурстве, маяки, лоаторы и т.д.

Энергетической стратегией Украины на период до 2030 года направление – преобразование энергии морских волн в электрическую энергию – отнесено к перспективному направлению в развитии топливно-энергетического комплекса. Необходимо учитывать, что удельная плотность морской волновой энергии, отнесенная к единице поверхности, приблизительно

в 10 раз больше за величину плотности энергии ветра и значительно превышает плотность солнечной энергии. Удельная мощность волн, которая создается на больших глубинах при значительной удаленности от берега, на порядок выше удельной мощности волн в прибрежной зоне. Кроме того, процесс преобразования энергии морских волн в электрическую энергию в этом случае не связан с разрушительным экологическим воздействием на природу.

Поэтому использование энергии морских волн на «глубокой» воде Вооруженными силами Украины является крайне необходимым, а научные разработки по созданию волновых электростанций – актуальными.

Использование энергии морских волн пока находится на стадии создания опытных установок разных конструкций. Они классифицируются в зависимости от типа носителя, назначения, размещения, способа преобразования и съема энергии, диапазона высот волн. Подобные установки строятся в США, Англии, Дании, Японии и в других странах.

Use of sea wave's energy by Armed forces of Ukraine is the extremely necessary. Scientific development for creation of wave energy stations, are extraordinarily actual.

В современных волновых установках энергия волн может или непосредственно преобразовываться в энергию вращения вала генератора, или служить основой для привода турбины с генератором на одном валу с ней.

Все известные волновые установки состоят из пяти основных частей: несущей конструкции, рабочего органа – энергопоглощающего элемента, рабочего тела, силового преобразователя и системы крепления.

Украинская научно-производственная фирма «КРОК-1» в соавторстве с учеными Национального авиационного университета (г. Киев) и Национального университета кораблестроения им. адмирала



Макарова (г. Николаев) создала и активно внедряет проект современной морской гидроэлектростанции мощностью до 20 МВт с гибким энергопоглощающим элементом [2]. Уникальность созданной установки состоит в том, что она способна эффективно работать при любом колебании морской поверхности за счет саморегулирования формы энергопоглощающего элемента под воздействием волн и погружения станции на необходимую глубину в соответствии с погодными условиями на поверхности. Себестоимость электрической энергии, которая создается станцией, не превышает 0,1 цент/кВт.

Wave energy station is able effectively to work at any size of waves, because form of energetically absorbing element is self-regulated under the action of waves.

Фирмою были рассмотрены три варианта платформы энергетической станции, которая должна выполнять функции конструкции для размещения и монтажа оборудования, необходимого для преобразования энергии колебаний поверхности моря в электрическую энергию с дальнейшей передачей ее в береговую зону или на объекты морского базирования. Все варианты платформы предусматривают наличие аварийного источника электроэнергии и систему навигационной безопасности.

На рис. 1 представлен первый вариант платформы в виде пространственной конструкции, которая имеет симметрию вдоль диаметральной плоскости. Она состоит из понтона и рамы. Понтон спроектирован за типом тримарана и обеспечивает необходимую плавучесть и высокую остойчивость в целом. Секционирование понтона обеспечивает плавучесть. Рама имеет необходимую жесткость конструкции в трех координатных плоскостях и состоит из шпангоутов, которые имеют форму симметричного шестиугольника.

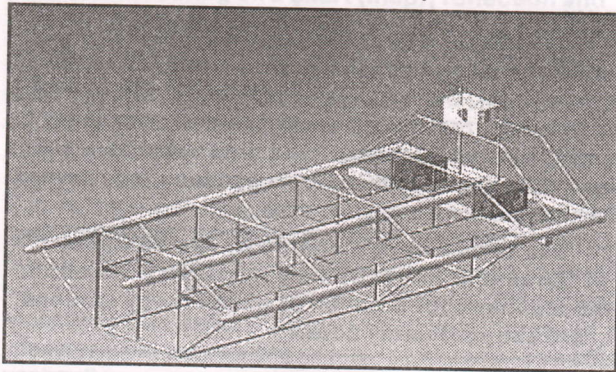


Рис. 1. Вариант платформы морской энергетической электростанции, выполненной по типу тримарана.

Вертикальные опоры шпангоутов имеют площадки фундаментов для монтажа подшипниковых опор трансмиссии. Между собою шпангоуты соединены четырьмя продольными балками.

На платформе монтируется полезный груз, в состав которого входят генератор электроэнергии, трансмиссия генератора, редукторы, генераторные блоки, рубка (при необходимости), элементы кабельной системы, навигационная система, траверса, пайолы и трапы.

Рубка предназначена для размещения оборудования и непосредственного наблюдения за работой

приборов и механизмов. В рубке монтируются: преобразователи электрического тока, элементы систем навигационной безопасности, контрольно-измерительная аппаратура, освещение, аварийный источник энергии, запасные приборы и их отдельные части. Рубка представляет собой металлический параллелепипед с иллюминаторами и непроницаемыми для воды дверями.

Генераторные блоки представляют собой объемные герметические конструкции, к которым монтируются генераторы и редукторы. Узлы ввода силовых кабелей и шеек валов герметически уплотнены.

В блоках предусмотрена возможность доступа к оборудованию, которое находится внутри, через люки с герметичными крышками.

Навигационные мачты изготовлены из труб, которые имеют расчалки для увеличения стойкости к влиянию внешней среды. Навигационные огни и знаки мачт соответствуют требованиям международных квалификационных организаций.

Через траверсу обеспечивается поддержание платформы в стационарном положении в заданной точке акватории моря. Предусмотрена возможность перемещения точки крепления буксирного троса на траверсе для ориентации платформы относительно фронта волны.

Основными преимуществами варианта платформы морской энергетической электростанции за типом тримарана являются:

- конструктивная приближенность основных элементов, которые традиционно используются в строительстве морских судов;
- достаточная жесткость в трех координатных плоскостях;
- защищенность от непредвиденных влияний окружающей среды;
- использование стандартных технических решений и конструктивных компонентов;
- простота и удобство технического обслуживания надводного оборудования;
- минимальное число составляющих компонентов;
- технологичность в изготовлении;
- возможность использования доступных композитных и металлических материалов;
- малогабаритные показатели в сравнении с расчетной мощностью.

Вместе с тем, вариант платформы морской энергетической электростанции за типом тримарана имеет следующие недостатки:

- отсутствие возможности регулирования положения станции по отношению к средней линии волны;
- увеличенная масса и сопротивление буксирования в сравнении с другими вариантами;
- необходимость в буксировании платформы к береговой зоне для профилактики и ремонта трансмиссии.

Второй вариант платформы представляет собой симметричную вдоль диаметральной плоскости пространственную конструкцию за типом катамарана и обеспечивает необходимую жесткость в трех координатных плоскостях.

Пять однотипных шпангоутов соединены двумя балками и понтоном. Предусмотрены площадки фундаментов для монтажа оборудования. Конструкция

понтон имеет меньшее число конструктивных элементов, чем в первом случае. На платформе монтируются: механизм подъема рамы, рубка, элементы кабельной системы, навигационные мачты, траверса, пайолы и трапы.

Второй вариант платформы существенно отличается от первого наличием подвижной рамы, где монтируется полезный груз: трансмиссия, редукторы, генераторные блоки, а также элементы механизма подъема рамы, что позволяет изменять положение генераторов электроэнергии относительно средней линии.

Платформа имеет достаточную плавучесть и высокую устойчивость при неблагоприятных условиях морской среды. Рубка, генераторные блоки, навигационные мачты и траверса выполнены по аналогии с первым вариантом.

Основными достоинствами варианта платформы морской энергетической электростанции за типом катамарана являются:

- достаточная жесткость в трех координатных плоскостях;
- малогабаритные показатели;
- широкая возможность регулирования положения станции относительно средней линии волны;
- технологичность изготовления;
- простота и удобство технического обслуживания;
- возможность выполнения профилактики и ремонта без транспортирования к береговой зоне;
- возможность использования доступных материалов;
- компактность для транспортирования.

К недостаткам варианта платформы морской энергетической электростанции за типом катамарана следует отнести:

- относительную сложность конструкции платформы в целом;
- меньшую защищенность станции от непредвиденных влияний внешней среды.

Третий вариант платформы (см. рис. 2) представля-

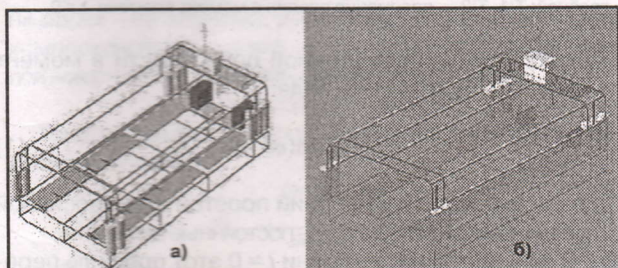


Рис. 2. Вариант платформы морской энергетической электростанции с двумя рамами, одна из которых подвижна
а) общий вид; б) на плаву.

ет собой симметричную вдоль диаметральной плоскости пространственную конструкцию, которая обеспечивает жесткость в трех координатных плоскостях.

Платформа состоит из двух рам. На одной – неподвижной раме смонтированы понтоны, траверса, мачты, элементы кабельной системы, пайолы и трапы. На другой – подвижной раме смонтированы трансмиссия, генераторные блоки, а также элементы подъема рамы и пайол.

Неподвижная рама состоит из четырех однотипных частей, которые имеют П – образную форму. Между собой эти части соединены продольными балками. Понтоны спроектированы за модульным принципом, обеспечивают необходимую плавучесть и высокую устойчивость конструкции станции. Конструкция понтона – секционная, имеет вертикальную пространственную ориентацию. Механизм подъема подвижной рамы конструктивно размещен в понтонах.

Основными преимуществами такого варианта платформы морской энергетической электростанции является:

- максимальная обтекаемость конструкции;
- компактность для транспортирования;
- использование стандартных технических решений и конструктивных компонентов;
- простота и удобство в техническом обслуживании;
- возможность использования доступных материалов.

К недостаткам такого варианта следует отнести меньшую в сравнении с другими вариантами общую жесткость конструкции и защищенность от внешних воздействий. Она имеет большое количество конструктивных элементов и рассматривается как альтернативная по отношению к двум предыдущим.

Все три варианта платформы морской энергетической электростанции предлагаются к использованию. Решение по конкретному варианту принимается руководством фирмы в зависимости от состояния акватории моря, где предлагается использовать энергетическую электростанцию.

Общим недостатком всех созданных в мире волновых станций независимо от их принципа действия является неустойчивость к разрушительному воздей-

General failing of all wave stations which created in the world, irrespective of their principle of action, is instability to destructive influence of sea waves is during sharp increase of force of a wind when operating conditions of station strongly differ from calculation values.

ствию морских волн в период резкого повышения силы ветра, когда условия работы станции сильно отличаются от расчетных значений.

По данным компании Ocean power delivery, представленным в табл.1 в осеннее-зимний период в интересующей ее акватории моря мощность волн увеличилась в 4.5 раз по сравнению с летним периодом.

Поэтому компания была вынуждена проектировать волновую станцию с рабочим органом мощностью 750 кВт на расчетную волну с высотой более 6 м (см. рис.3).

Таблица 1. Период колебания волны при создании мощности, с

	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0
0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,0	0	22	29	34	37	38	38	37	35	32	29	26	23	21	0	0	0
1,5	32	50	65	76	83	86	86	83	78	72	65	59	53	47	42	37	33
2,0	57	88	115	136	148	153	152	147	138	127	116	104	93	83	74	66	59
2,5	89	138	180	212	231	238	238	230	216	199	181	163	146	130	116	103	92
3,0	129	198	260	306	332	340	332	315	292	266	240	219	200	188	167	149	132
3,5	0	270	354	415	438	440	424	404	377	362	326	292	260	230	215	202	180
4,0	0	0	462	502	540	548	530	499	475	429	384	366	339	301	267	237	213
4,5	0	0	544	635	642	648	628	590	562	528	473	432	382	356	338	300	266
5,0	0	0	0	739	726	731	707	687	670	607	567	521	472	417	369	348	328
5,5	0	0	0	750	750	750	750	750	737	667	658	596	530	496	446	395	355
6,0	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	713	633	619	568	512	470	415
6,5	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	750	743	658	621	570	512	481
7,0	0	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	750	750	670	613	584	525
7,5	0	0	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	750	750	696	622	593
8,0	0	0	0	0	0	0	0	750	750	750	750	750	750	750	750	690	625



Рис. 3. Изменение средней мощности волны в зависимости от сезонной активности поверхности моря.

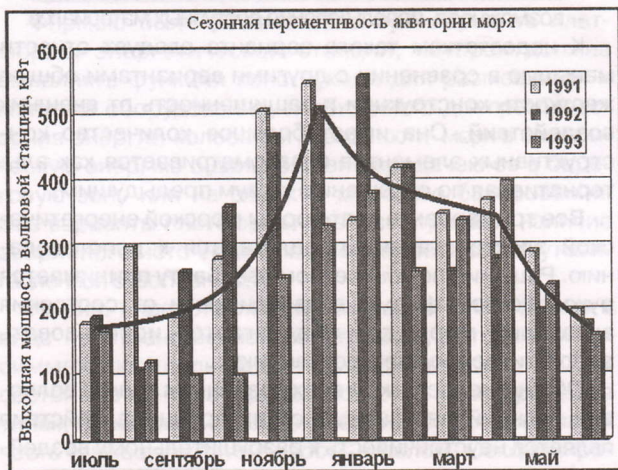


Рис. 4. Изменение средней мощности волны в зависимости от сезонной активности поверхности моря.

При уменьшении высоты волны до 3 м мощность установки снижается более чем в 2 раза, а при высоте волны в 2 м – она снижается в 5 раз (см. рис. 4). Для потребителей электроэнергии этот факт является крайне неудобным и трудно прогнозируемым.

Украинские ученые пошли путем создания волновой станции модульного типа мощностью 20 МВт, которая рассчитана на наиболее благоприятные и долговременные погодные условия любой акватории моря. Проблема разрушительного воздействия волн в период резкого изменения силы ветра и, соответственно, амплитуды колебаний поверхности моря, решена путем подтопления энергопоглощающего элемента и платформы станции на глубину, где колебания волн соответствуют расчетным значениям, без изменения режима работы самой станции. При этом потребители стабильно получают заявленное количество электроэнергии при любых погодных условиях.

Согласно [3], глубина возбуждения волнами статического напора водоема зависит, в основном, от геометрических параметров волн. Поэтому возникает необходимость в определении кинематических и энергетических параметров волн на глубинах по известным параметрам волн на поверхности моря для возможности использования расчетов геометрических данных энергопоглощающего и других элементов станции.

Оптимальным режимом работы станции украинской научно-производственной фирмы «КРОК-1» определен

режим, когда амплитуда волны совпадает с максимальным радиусом вращения энергопоглощающего элемента относительно оси при полном повороте. Поэтому, при любом увеличении величины морских волн относительно расчетных величин для безопасной работы станция подтапливается на такую глубину, где амплитуда колебаний волн равна расчетной величине.

Problem of destructive influence of waves during sharp change of force of a wind and as consequence of amplitude of fluctuations of a surface of the sea, it is solved by flooding is a energetically absorbing element and a platform of station on depth, where fluctuations of waves correspond to calculation values, without change of an operating mode of the station. Thus consumers stably receive the declared quantity of the electric power.

Был рассмотрен профиль свободной поверхности морской волны в момент времени $t = 0$ в координатах $x-y$, где ось x направлена горизонтально вдоль направления движения фронта волны, а ось y – вертикально вверх (см. рис. 5, а). При этом уравнение верти-

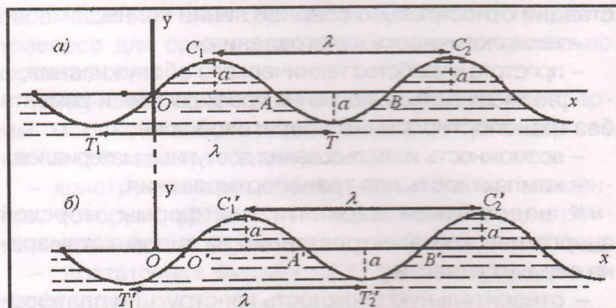


Рис. 5. Профиль свободной поверхности прогрессивной гармонической волны:

а) O, A, B – узловые точки волны; C_1, C_2 – положение гребней; T_1, T_2 – положение впадин в момент времени $t = 0$;
б) O', A', B' – узловые точки волны; $C'1, C'2$ – положение гребней; $T'1, T'2$ – положение впадин в момент времени $t = 0$.

кального сечения свободной поверхности в момент времени t будет иметь вид:

$$y = a \sin(mx - nt) \quad (1)$$

где a – амплитуда колебаний простой прогрессивной гармонической волны; m, n – постоянные величины.

В любой момент времени $t = 0$ этот профиль передвигается на величину отрезка OO' относительно начала системы координат (см. рис. 5, б).

Поскольку скорости волн в момент времени t имеет такой же вид, что и в момент времени $t = 0$ относительно системы координат, начало которой перенесено в точку O' , то уравнение (1) может быть записано в виде:

$$y = a \sin m(x - nt/m) \quad (2)$$

при этом $OO' = nt/m$ – отрезок, на величину которого переместился профиль.

Поэтому, уравнение (2) характеризует движение, при котором кривая движется в направлении оси x со скоростью $c = n/m$.

Форма свободной поверхности остается неизмен-

ной как в момент времени t , так и в момент времени $t = 2\pi/\omega$.

Отсюда длина волны определяется как:

$$\lambda = \frac{2\pi}{m} \quad (3)$$

а период волны – как:

$$\tau = \frac{2\pi}{n} \quad (4)$$

Таким образом, уравнение профиля волны может быть представлено в виде выражения:

$$y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (c - xt) \quad (5)$$

где c – скорость распространения волны.

Отметим, что уравнение (2) описывает движение в двух измерениях, то есть движение, которое можно представить как движение жидкости между двумя вертикальными плоскостями, расположенными на единичном расстоянии одна от другой.

Рассмотрев процесс распространения волны высотой $\eta = \eta(x, t)$ над средним уровнем на глубине относительно невозмущенного уровня вдоль оси x , запишем уравнение свободной поверхности в виде: $y - \eta - h = 0$. Так как поверхность движется вместе с жидкостью, то $d(y - \eta - h)/dt = 0$.

На свободной поверхности это уравнение имеет вид:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (6)$$

где ψ – функция тока.

Уравнение (6) есть кинематическим условием на вольной поверхности для волновых профилей малой высоты и наклона. Для безвихревых волн, которые имеют профиль:

$$h = a \sin(mx - nt) \quad (7)$$

Функция тока ψ при $y = h$ пропорциональна величине $\sin(mx - nt)$. Поэтому, решение уравнения (6) имеет вид комплексного потенциала $w = b \cos(mz - nt)$. Тогда на вольной поверхности определим функцию тока в виде:

$$w = -b \cos(mx - nt) \operatorname{sh}(mh).$$

Подстановка этой величины в уравнение (6) приводит к выражению:

$$bm \operatorname{sh}(mh) = an \quad (8)$$

$$\text{и } w = \frac{ac}{\operatorname{sh}(mh)} \cos(mz - nt) \quad (9)$$

Согласно [4] условие для давления на свободной поверхности для морских волн может быть представлено в виде:

$$g\eta = \frac{\partial \phi(x, y, t)}{\partial t} \quad (10)$$

где ϕ – функция выбора в уравнении давления. Отметим, что уравнение (10) позволяет определить величину повышения среднего уровня моря при известной величине ϕ .

Совместное рассмотрение кинематического граничного уравнения (6) с граничным условием для давления (10) можно представить в виде:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - g \frac{\partial \psi}{\partial x} = 0 \quad (11)$$

Для простой гармонической волны:

$$w = \frac{ac}{\operatorname{sh}(mh)} \cos(mz - nt), \quad \eta = a \sin(mx - nt) \quad (12)$$

Если перенести начало координат на невозмущенную поверхность, комплексный потенциал преобразуется к виду:

$$w = \frac{ac}{\operatorname{sh}(mh)} \cos(mz + mih - nt) = ac [\cos(mz - nt) - i \sin(mz - nt)] \quad (13)$$

При $h \rightarrow \infty$ комплекс $\operatorname{cth}(mh) \rightarrow 1$ и, поэтому, для волн на глубине:

$$w = ace^{-i(mz - nt)} \quad (14)$$

Для траектории отдельных частиц воды имеют место уравнения:

$$\frac{dz'}{dt} = -\frac{dw}{dz} = iacme^{-i(mz - nt)}, \quad \bar{z}' = ae^{-i(mz - nt)} e^{my} \quad (15)$$

Отсюда $|z'| = ae^{my} \dots$ Траектории отдельных частиц воды представляют собою окружности радиуса a . Когда $y \rightarrow \infty$, радиусы окружностей уменьшаются до нуля. Для того чтобы данную акваторию моря можно было считать глубокою, необходимо выполнение условия $\operatorname{cth}(mh) = 1 = \operatorname{th}(mh)$.

Так как, то это условие выполняется при выполнении неравенства:

$$mh = \frac{2\pi h}{\lambda} > 2,65 \quad (16)$$

Таким образом, акваторию можно рассматривать как глубокою, если глубина превышает половину длины волны. Этот вывод совпадает с данными работы [3].

По данной методике создана программа и проведен расчет распространения энергии морских волн с разными амплитудами, периодами колебаний и скоростями движения. Один из фрагментов выполнения этих расчетов для $a = 0,5$ м и $c = 5,5$ м/с представлен на рис. 6.

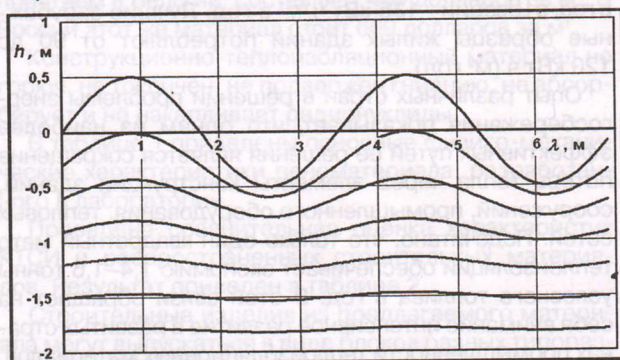


Рис. 6. Расчет изменения амплитуды колебаний гармонической волны по глубине.

Литература

1. Енергетичні ресурси та потоки. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2003. – 472 С.
2. Патент України №56481. Пристрій для перетворення енергії хвиль водної поверхні. МКИ7 F03B13/12.
3. Ищенко Ю.А. Захват энергии взаимодействия глубин и волн Мирового океана // Энергия, 2003, №3. С. 28–36.
4. Милн–Томсон Л.М. Теоретическая гидродинамика. – М.: Мир, 1964. – 655 С.