

УДК 662.92

В.С. ОСАДЧУК, Ю.Г. СТРЕМБОВСКИЙ, А.П. КОСТОГРЫЗ
Херсонский национальный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭНЕРГИИ МОРСКИХ ВОЛН С МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ГЕНЕРАТОРОМ

Приведен расчет преобразователя энергии морских волн с магнитоэлектрическим генератором. При минимальных затратах можно обеспечить освещением, отоплением и кондиционированием, горячей водой пионерские лагеря, дома отдыха, дачные поселки и даже одиночные коттеджи на берегу моря.

Ключевые слова: энергия волн, ВЭР – возобновляемые энергоресурсы, плотность энергии волн.

В.С. ОСАДЧУК, Ю.Г. СТРЕМБОВСКИЙ, О.П. КОСТОГРЫЗ
Херсонський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЕНЕРГІЇ МОРСЬКИХ ХВИЛЬ З МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНИМ ГЕНЕРАТОРОМ

Наведено розрахунок перетворювача енергії морських хвиль з магнітоелектричним генератором. При мінімальних витратах можна забезпечити освітленням, опаленням і кондиціонуванням, гарячою водою піонерські табори, будинки відпочинку, дачні селища і навіть поодинокі котеджі на березі моря.

Ключові слова: енергія хвиль, ВЕР – поновлювані енергоресурси, щільність енергії хвиль.

V. OSADCHUK, Y. STREMBOVSKYI, A. KOSTOGRYZ
Kherson National Technical University

THE CALCULATION OF THE ENERGY CONVERTER OF THE WAVES WITH A MAGNETOELECTRIC GENERATOR

The calculation of the energy Converter of the waves with magnetoelectricity generator. At minimal cost to provide lighting, heating, and air-conditioning, hot water pioneer camps, rest homes, holiday villages and even single houses on the sea shore.

Key words: wave energy, wave – renewable energy, energy density of the waves.

Постановка проблемы

К настоящему времени в мире разработано и практически реализовано большое количество технологических схем, способов и устройств для преобразования кинетической энергии волн в электрическую энергию. Среди них конструкции, использующие осциллирующий (колеблющийся) столб воды (OWC), точечные абсорберы («поплавки») Archimedes Wave Swing (AWS), Point Absorber Wave Energy Converter, преобразующие движение волны через механическую или гидравлическую системы в возвратно-поступательное или вращательное движение индуктора электрического генератора, плавающие (Floating Wave Power Vessel [<http://www.seabased.com/> (30.06.2004)]) или неподвижные (преобразователь «ТАРСНАН» бассейны, заполняемые набегающими волнами, а также оригинальные системы на основе использования гидравлических насосов Nose Pump, McCabe Wave Pump, Salter Duck [[http://www-stud.fht-esslingen.de/projects/alt energy/water/wave.html](http://www-stud.fht-esslingen.de/projects/alt%20energy/water/wave.html), (09.08.2004)], Cockerell Raft и др.

Анализ последних исследований и публикаций

При известных промышленных прототипах на кафедре ОПП ХНТУ была сконструирована лабораторная установка, позволившая провести достаточно надежные исследования и расчеты его экономической эффективности. Подобные устройства имеют, как будет показано в разделе 2, очень сложную и дорогостоящую конструкцию, что снижает технико-экономические показатели и надежность работы преобразователя, усложняет его обслуживание и эксплуатацию. Большинство из отмеченных технологических схем имеют в своем составе турбины, гидравлические насосы и механические редукторы для передачи возвратно-поступательного движения воды или воздуха к традиционному электрическому генератору.

Формулировка цели исследования

Целью данной работы является анализ возможности создания автономных энергоустановок, работающих только на возобновляемых источниках энергии, среди которых волновая энергия является

наиболее универсальной и повсеместно доступной. Украина, как и другие страны, располагает значительными водными ресурсами.

Изложение основного материала исследования

Альтернативой указанным устройствам является безредукторный преобразователь, состоящий из магнитоэлектрического линейного генератора (МЭЛГ), соединенного с точечным абсорбером - бумом, лежащим на морской поверхности. Наличие «электромагнитного редуктора» в виде многополюсного индуктора с постоянными магнитами позволяет при малой скорости его вертикального перемещения получить в обмотке статора значительную э.д.с, кардинально упростить конструкцию, увеличить эффективность и надежность работы преобразователя. Именно поэтому во многих промышленно-развитых странах мира ведутся интенсивные работы по созданию поплавковых ПЭВ с линейными электрическими генераторами, причем, и это важно подчеркнуть, в рамках выполнения государственных программ, то есть при непосредственной финансовой поддержке государства. Анализ публикаций по разработке линейных генераторов с постоянными магнитами показал, что при их расчете и проектировании не рассматриваются, как правило, вопросы рационального выбора геометрических размеров элементов магнитной цепи, не учитываются реальный характер движения индуктора и, главное, необходимость и способы утилизации электрической энергии генератора в условиях нестабильности амплитуды, частоты и направления движения волн. Исследованию этих вопросов, а также разработке методики электромагнитного расчета магнитоэлектрических линейных генераторов для конвертирования энергии морских волн и посвящена настоящая статья, материал которой пойдет в диссертационную работу.

На рис. 1 представлена конструкция лабораторной установки.

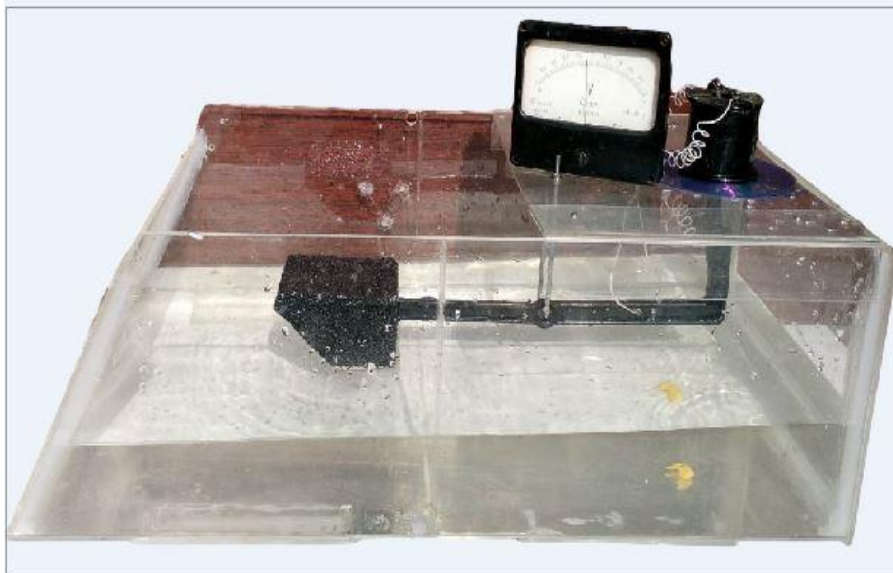


Рис. 1. Общий вид лабораторной установки с поплавковой зоной

Ниже представлено соотношение, устанавливающее связь между величиной генерируемой электромагнитной мощности, с одной стороны, амплитудой и частотой колебаний ротора генератора, с другой стороны:

$$P_e = \frac{1}{2} E_{vm} \cdot i_m, \quad (1)$$

где P_e - электромагнитная мощность, Вт,

E_{vm} - амплитуда электродвижущей силы (ЭДС), В,

i_m - амплитуда тока генератора, А, при этом ток i_m пропорционален произведению

$$i_m = m b_m \omega^3 X_{1m}, \quad (2)$$

где m - эквивалентная масса ротора генератора со ступенчатым валом вибратора,

b_m - ширина постоянного магнита,

ω - круговая частота периодического возмущения,

X_{1m} - амплитуда колебаний ротора [1]

Из соотношения следует, что электромагнитная мощность пропорциональна амплитуде колебаний ротора и круговой частоте колебаний ротора третьего порядка, т.е. вклад высокочастотных колебаний в генерирование электрической мощности является определяющим фактором.

На рис. 2 представлен модернизированный макет установки.



Рис.2. Модернизированный макет установки

Для обеспечения наиболее эффективного преобразования первичных источников энергии энергоустановка снабжена «умной» системой автоматического управления.

Для краткосрочного аккумулирования электроэнергии (до нескольких часов) в составе ВЭУ (волновая электроустановка) перспективно использовать электрохимические аккумуляторы. Однако их размеры, стоимость и надежность становятся, как правило, неприемлемыми при попытке построить систему аккумулирования долгосрочного хранения энергии.

Согласовать режимы работы источников энергии и мощности можно с помощью соответствующих электронных преобразователей. Разработка полностью автономной эффективной энергоустановки, использующей в качестве первичных источников энергии – энергию волны, связана с поиском и обоснованием ее оптимальной конфигурации и состава с учетом реальных климатических условий эксплуатации, характеристик используемого оборудования, а также особенностей потребителя, включая ожидаемые переменные графики потребления энергии. Критерием оптимальности должна быть минимальная стоимость энергоустановки при гарантированном энергообеспечении потребителя.

Решение задачи создания таких оптимальных автономных ВЭУ возможно лишь на основе сочетания расчетно-теоретических и экспериментальных исследований.

Для построения математической модели работы автономной ВЭУ, прежде всего, необходимо обеспечить возможность моделирования первичных возобновляемых источников с характерной для них неравномерной генерируемой мощности в зависимости от географической точки расположения, сезона и времени суток. Для этой цели рекомендуется использовать климатическую базу среднемесячных данных на основе обобщения результатов метеорологических наблюдений на отечественных метеостанциях и спутниковых данных NASA [5]. Реальные климатические условия формируются в формате так называемого типичного метеогода (скорости ветра, высота волны и других метеопараметров), что позволяет моделировать работу первичных источников в любой географической точке. Генерация данных обеспечивается с помощью специализированных программных средств TRNSYS [6], предназначенная для моделирования сложных систем преобразования энергии возобновляемых источников в характерных для них нестационарных режимах работы.

Расчетная схема ВЭУ включает в себя как стандартные модули, входящие в поставляемую конфигурацию пакета TRNSYS, так и специально написанные на кафедре инструкции, для решения поставленной задачи. Модули визуализации временных процессов (Type 65) и контроля интегральных

критериев работы энергоустановки (Efficiency), нагрузки (Load), аккумуляторного накопителя (Battery), а также модуль блока управления (Controller).

Программы расчета отдельных блоков модели позволяют произвольно задавать основные технологические параметры устройств: КПД, коэффициенты потребления мощности, минимальные уровни потребления в ждущем режиме, производительности и удельные потребления (в том числе нулевые значения, фактически исключающие отдельные блоки из конфигурации энергоустановки, а также уровни максимальной емкости и интенсивности).

На рис.3 представлена электронная схема устройства контроля и программирования оптимальных значений факторов – давлений на крыло, длины и частоты волны, влияющих на отклик.

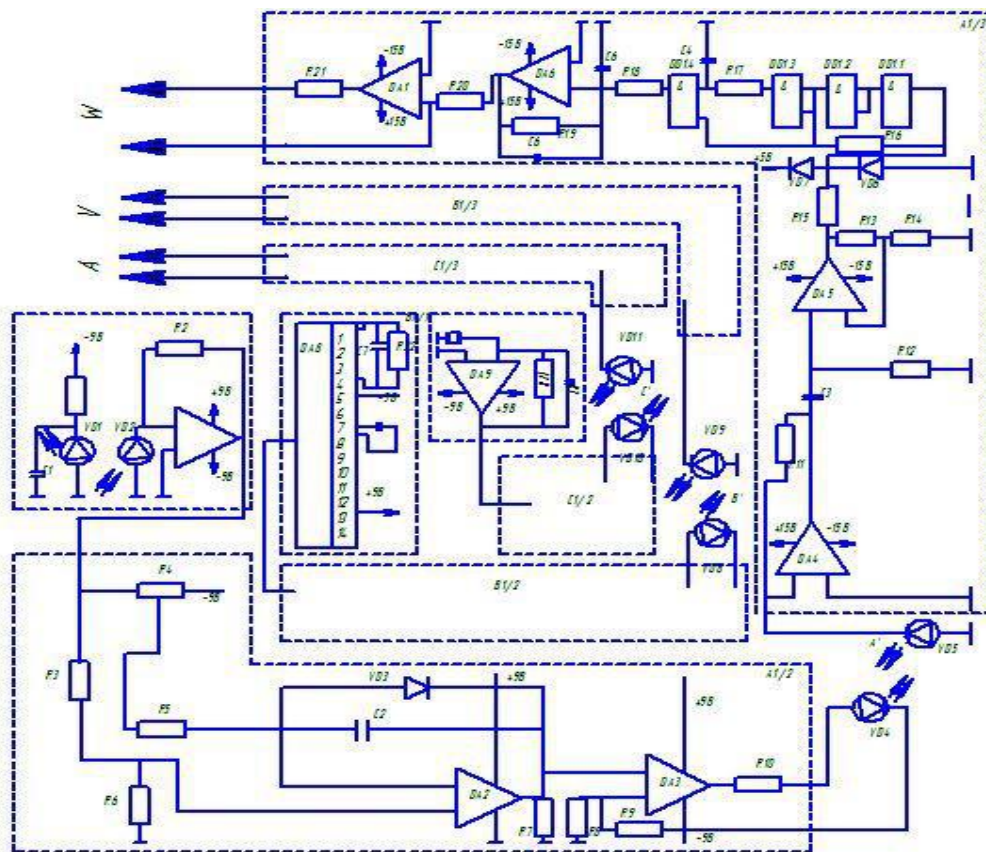


Рис.3. Электронная схема устройства контроля и программирования оптимальных значений факторов – давлений на крыло, длины и частоты волны, влияющих на отклик

- где A^1 , B^1 и C^1 – факторы, преобразующие действие волны на крыло;
 VD₁, VD₄, VD₈, VD₁₀ – инфракрасные светодиоды;
 VD₂, VD₅, VD₉, VD₁₁ – инфракрасные фотодиоды;
 VD₃ – диод обратной связи генератора;
 VD₆, VD₇ – диоды двустороннего ограничителя напряжения;
 VD₁₁ – стабилитрон КС156 стабилизатора питания микросхемы К155ЛА3.
 DA₁, DA₂, DA₄, DA₅ – операционные усилители К574УД1Б; DA₃, DA₄, DA₉ – операционные усилители К140УД8А;
 DA₁ – четыре элемента 2U (микросхема К155ЛА3);
 C₁, C₉ – конденсаторы фильтра питания;
 C₃, C₁₀ – переходные конденсаторы
 C₂ – частотоподающий конденсатор;
 R₁, R₅, R₁₀, R₁₅, R₁₈, R₂₀, R₂₁, R₂₄ – токоограничивающие резисторы;
 R₉, R₁₁, R₁₆, R₁₂, R₁₃ – резисторы обратной связи;
 R₆, R₉, R₁₃, R₁₄ – резисторные делители напряжения;
 R₄ – потенциометр регулировки начальной частоты генератора;
 R₇ – нагрузочный резистор генератора;
 R₁₂ – резистор установки режима работы;
 R₁₇ – резистор установки длительности выходного импульса.

Работает устройство (рис.3) следующим образом так, что электрический ток от отрицательного полюса источника питания проходит через токоограничивающий резистор R, и светодиод VD₁, который излучает световой поток в инфракрасной части спектра, попадающий через водяной поток на рабочую поверхность крыла, согласно (7) мощность внешнего излучения светодиода VD₁ характеризуется зависимостью:

$$W = \left(\frac{2h_1 c B}{v \eta} \right) \left(\frac{i_S}{i_N} \right)^2, \quad (3)$$

где h_1 – постоянная Планка;
 C – скорость света в морской воде;
 B – ширина пропускания морской волны;
 v – длина волны;
 η – квантовая эффективность внешнего излучения, вызванная переходом между определенными энергетическими состояниями слоев волны;
 i – фактор короткого замыкания;
 S – напряжение фотосигнала на определенной частоте;
 N – число фотонов поглощаемых в единицу времени волной.

Количественное значение обнаруживаемой мощности внешнего излучения $P_1 = 1,3 * 10^{-18}$ Вт. Для сглаживания пульсаций напряжения параллельно светодиоду включен конденсатор C₁. Отраженный от волны поток излучения фиксируется фотодиодом VD2. Обнаруживающая способность приемника – фотодиода VD2 характеризуется зависимостью:

$$D = \eta v L / \left[u_1^{0,5} h c \sqrt{\eta \phi + \left(\frac{I_1}{q} \right) \left(\frac{1}{G^2 F_2} \right) + (1/G^2 R_1 F_2)} \right], \quad (4)$$

где $L = \sqrt{\left(\frac{2f}{q} \right) [(T + W)(TW)]} v$ – ширина области объемного заряда ;
 u_1 – освещенность поверхности волны;
 ϕ – плотность потока фотонов;
 I_1 – фототок внешнего сигнала;
 q – удельный тепловой поток в расчете на единицу длины волны;
 G – коэффициент фотоэлектрического усиления;
 F_2 – фоточувствительная поверхность приемника;
 K_1 – постоянная Больцмана;
 T – теплопроводность волновой среды;
 R_1 – излучательная способность поверхности крыла;
 f – диэлектрическая постоянная движущейся волны;
 v – контактная разность потенциалов.

Фотодиод VD₂ генерирует пропорциональный освещенности фототок поступающий на вход преобразователя «ток напряжения» DA₁. При этом на выходе преобразователя появляется пропорциональное фототоку напряжение, которое подается через усилитель на резисторы R₃, R₆ на неинвертирующий вход генератора управляемого напряжения на определенном усилителе DA₂, диоде VD₂, конденсаторе C₂ и резисторе R₇. Начальная частота генерации устанавливается потенциометром R₄, с которого потенциал через резистор R₅ поступает на инвертирующий вход. Импульсы положительной полярности поступают на инвертирующий компаратора на операционном усилителе DA₃. На неинвертирующий вход компаратора через делитель на резисторах R₈, R₉ подано опорное напряжение отрицательной полярности. Сформированные компаратором прямоугольные импульсы с постоянной амплитудой напряжения через токоограничивающий резистор поступает на светодиод VD₄, излучающий пульсирующий световой поток. В зоне излучения A₁ светодиода VD₄ установлены приемные фотодиоды VD₅. Они генерируют пульсирующий с частотой облучения фототок, преобразуемый преобразователем «ток-напряжения» на операционном усилителе DA₄ в импульсы напряжения поступающего на инвертирующий вход операционного усилителя DA₅ через разделительный конденсатор C₃. На усилителе DA₅ и резисторах R₁₂, R₁₃ и R₁₄ триггер Шмитта, формирующий на выходе импульсы прямоугольной формы из поступающих на его вход импульсы малой амплитуды. Через токоограничительный резистор R₁₅ эти импульсы поступают на двухсторонний диодный ограничитель на диодах VD₆ и VD₇, который включен на входе формирователя собранного на четырех логических элементах 2U – HE DD1, резисторах R₁₆, R₁₇ и конденсаторе C₄. На первых двух элементах DD1.1 и DD1.2 и резисторе R₁₆ собран формирователь импульсов прямоугольной формы с уровнем необходимых

для работы ТТЛ – логики. На инверторе DD1.3, логическом элементе DD1.4, резисторе R_{17} конденсаторе C_4 собран одновибратор, формирующий из поступающих на него прямоугольных импульсов одинаковой длительности, которые определяются постоянной времени интегрирующей цепи R_{17}, C_4 .

С выхода формирователя импульсы поступают на интегрирующую цепочку R_{18}, C_5 на которой выделяется аналоговый сигнал, несущий информацию о измеряемых параметрах волновых изменениях. Эти сигналы поступают на вход усилителя – интегратора, где усиливаются до требуемой величины, а вредные высокочастотные составляющие фильтруются. Через резистор R_{20} сигнал поступает на усилитель тока на операционном усилителе DA_7 , на выходе которого через резистор R_{21} может быть подключен гальванометр – вставка светолучевого осциллографа. Приемники инфракрасного излучения включены по типовой схеме с навесными элементами R_{22}, C_7 и C_{10} , а их выходы соединены с аналогичными каналами на поверхности крыла для измерения качественных характеристик процессов, протекающих в волновом пространстве морской волны «амплитуды, длины волны, давления и др.» бесконтактным передающе-приемным устройством. На микросхему подано двуполярное питание $\pm 9В$. Датчик измерения размеров волны, представляющий собой оптическую пару светодиод VD_1 и фотодиод VD_2 , установлен в углублении выполненном на крыле так, чтобы излучаемый светодиодом VD_1 световой поток был направлен нормально к рабочей поверхности крыла и отраженный от поверхности попадал в приемное окно фотодиода VD_2 . Вмонтированные в крыло диоды – датчики закрыты сверху прозрачной пластиной из оргстекла, которая обработана вместе с рабочей поверхностью и отполирована.

Датчик для измерения давления потока волны на крыло состоит из пьезоэлектронного преобразователя градиента силы давления, установленного в углублении рабочей поверхности крыла и подсоединен к инвертирующему входу операционного усилителя DA_9 (K574УД1Б), через резистор обратной связи R_{23} . На усилитель подано двуполярное питание $\pm 9В$. Выходы каждого датчика соединены со входами трех идентичных преобразователей передатчиков. Пропорциональная скорости и изменения давления - сила волны на крыло ЭДС, вырабатываемые датчиками и пьезокристаллическим преобразователем, поступают на вход усилителя – интегратора на операционном усилителе DA_9 .

После интегрирования на входе усилителя получили сигнал пропорционально изменению уже длины, амплитуды и давления волны с внутренними и внешними характеристиками, которые также поступают на аналогичные вышеописанные каналы передачи, приема и усиления сигнала.

На рис.4 приведен пример осциллограммы впервые записанных изменяющихся качественных характеристик процессов протекающих в волновом пространстве.

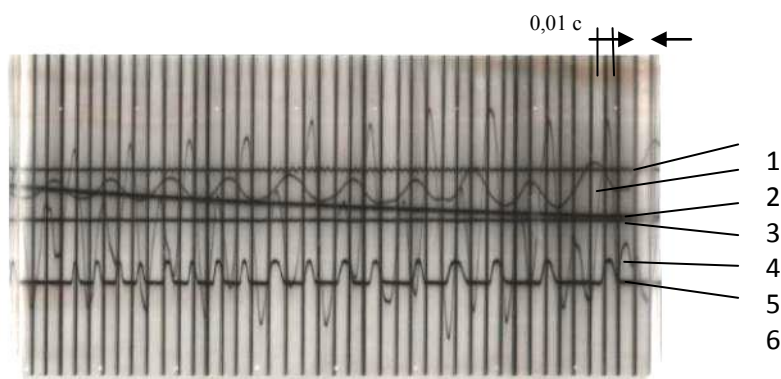


Рис. 4. Снимок с осциллографа

- 1-общая нулевая линия волнового изменения;
- 2-колебания поверхности крыла;
- 3-течение потока на поверхности крыла;
- 4-изменение давления на поверхности крыла;
- 5-изменение скорости потока на поверхности крыла;
- 6-участок нагружений поверхности крыла- вибрации поверхности крыла;

На рис. 5 по результатам исследования построен фрагмент расчетной схемы волны.

Затем проведем анализ состояния волновой динамической расчетной схемы (рис.6) устанавливающий закономерность изменяющихся свойств в потоке волновых возмущений действительных переменных параметров (A – амплитуды, B – длины волны, P – давление, и др.) Описываются действительными функциями, например $y = f(x)$ и др. [8], выраженным дифференцируемыми в фиксированной точке M , поскольку она определена в ограниченной заданной фиксированной

окрестности нагруженной зоны волнового колебания параметров ds для которых существуют их приращения [9]:

$$\Delta y = f(x - \Delta x) - f(x), \text{ и др.} \tag{5}$$

Если исходить из общепринятых правил [8], целесообразно упростить и принять условие дифференциала независимости переменного [3], с учетом приращения аргумента Δx с обозначением через dx , что позволяет записать :

$$dy = f'(x)dx, \text{ и др.} \tag{6}$$

Следовательно тогда $f'(x) = dy(dx)$, т.е. производная равна отношению дифференциала, как главной линейной части приращения функции переменных параметров волновых колебаний dx и dy . Если $\Delta S = 0$, то $\Delta y dy \rightarrow 1$, при $\Delta x \rightarrow 0$, т. е. Δy и dy при $\Delta x \rightarrow 0$ является случайное $\Delta S \neq 0$, т.е. эквивалентными бесконечно малыми, которые представлены как простой структурой дифференциала в виде линейности по Δx , которой воспользуемся в приближенных вычислениях изменений параметров в волновой среде полагая $\Delta y \approx dy$ при малых Δx . В том случае, когда необходимо ограничиться вычислениями, то $f(x - \Delta x) \approx f(x) - dy$, и др.

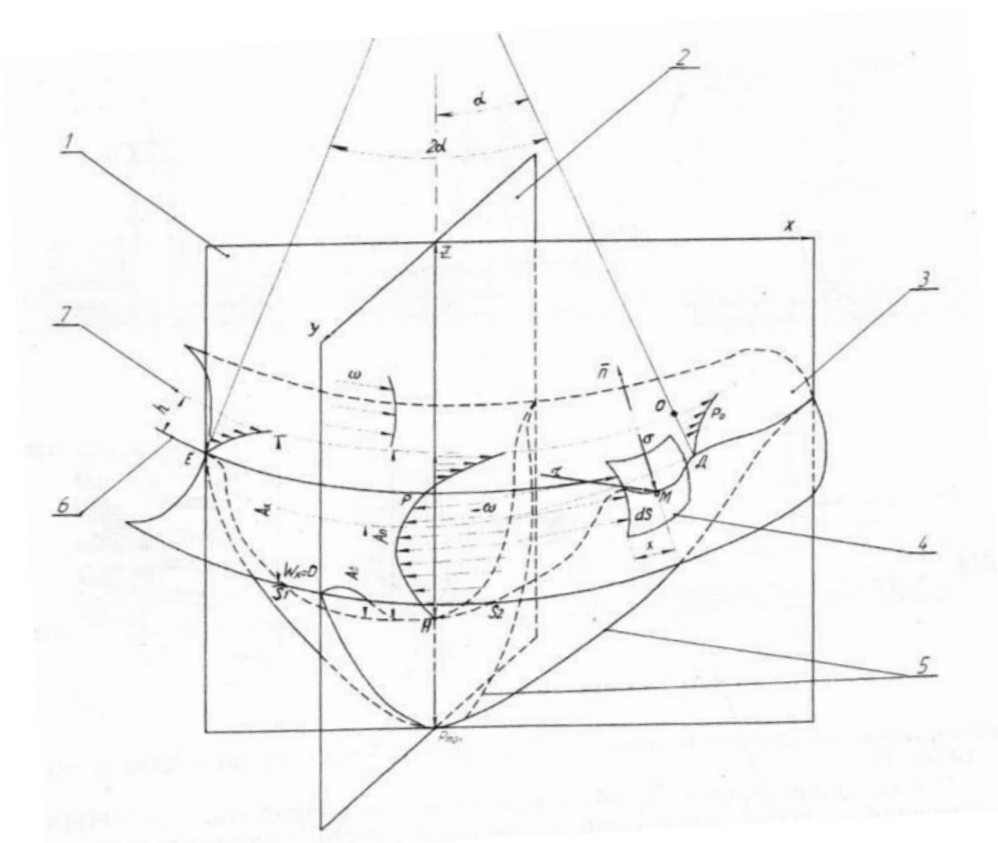


Рис. 5. Фрагмент расчетной схемы протекающих процессов в волновом пространстве

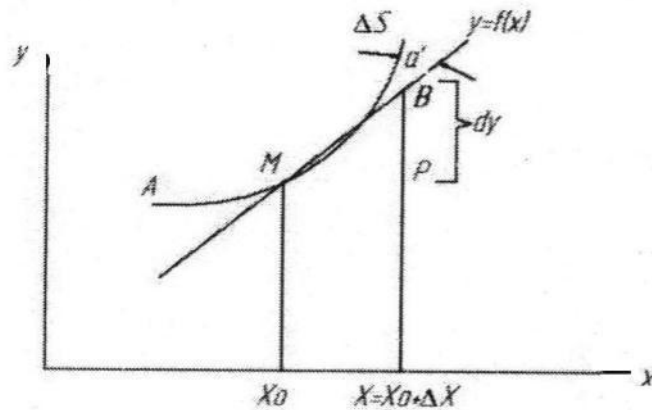


Рис. 6. Расчетная схема

Такое представление используется если необходимо оценить соответствующую погрешность параметров A,B,P в возмущенной волновой среде при установлении конкретных числовых значений.

Геометрическое представление изменения значения параметров в волновом потоке будет выражено дифференциалом . Уравнение $y = f(x)$ в точке $M(x_0, y_0)$ будет иметь вид:

$$y - y_0 = f'(x_0)(x - x_0). \tag{7}$$

Тогда $x = x_0 - \Delta x$, а $y - y_0 = f'(x_0)\Delta x$. Правая часть и есть значение дифференциал функции $f(x)$ в точке x_0 отвечающее рассматриваемому значению Δx . В этом случае дифференциал совпадает с соответствующим приращением изменений параметров волновых колебаний по ординате касательной к кривой $y = f(x)$, отрезка BP. В этом случае значение $[\alpha]$, т.е. $\alpha = \Delta y - dy$ совпадает с длиной отрезка ΔSB . Затем если обобщить действительные функции от n действительных переменных, то в случае учета только $n=2$ действительная функция $z = f(x, y)$, будет дифференцируемой в точке $M(x, y)$ по совокупности ds этой точки и ее полное приращение:

$$\Delta z = f(x - \Delta x, y - \Delta y) - f(x, y) \tag{8}$$

может быть представлено в виде:

$$\Delta z = A\Delta x - B\Delta y - \alpha. \tag{9}$$

Считается, что A,B – конкретные числа длины и амплитуды волны $2\rho \rightarrow 0$, при $\rho \rightarrow 0$,

$\rho = \sqrt{\Delta x^2 - \Delta y^2}$, следовательно имеет место принадлежность точки $M(x - \Delta x, y - \Delta y)$ окрестности ds.

Затем, введя полный дифференциал:

$$dz = df(x, y) = A\Delta x - B\Delta y \tag{10}$$

для фиксированной точки $(M(x, y, z))$, выраженной линейной функцией от Δx и Δy , а разность $\alpha = \Delta z - dz$, как бесконечно малой величиной более высокого порядка по сравнению с ρ (рис.8), тогда имеем dz, которая и есть главной линейной частью приращения $\Delta z \in P_{max}$.

Поскольку $f(x, y)$ дифференцируема в точке $M(x, y)$, значит она непрерывна в этой точке, поэтому имеет в ней конечные частные производные:

$$dz = df(x, y) = f'_x(x, y)\Delta x - f'_y(x, y)\Delta y. \tag{11}$$

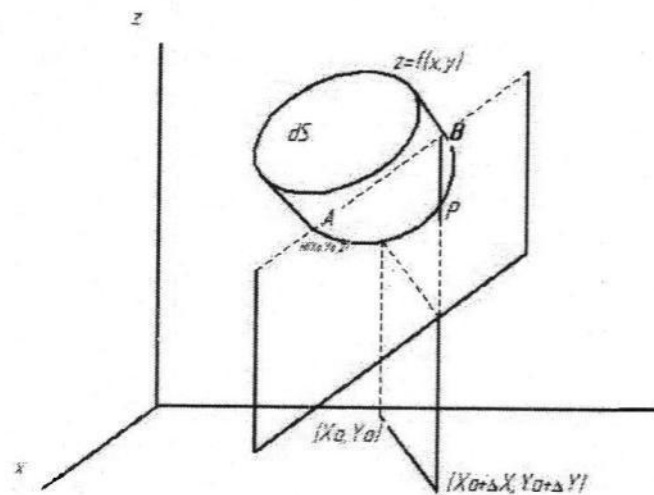


Рис. 7. Геометрически полный дифференциал

На рис.7 представлен геометрически полный дифференциал $df(x_0, y_0)$, представленный приращением аппликаты касательной плоскости к поверхности ΔS (рис.6), $z = f(x, y)$ в точке $M(x_0, y_0, z)$.

Для изменяющегося процесса волнового колебания представленного дифференциалом по множеству S в точке M для каждой координаты $x \in S, x + \Delta x \in S, \Delta y = A\Delta x + \alpha$, которое используется в концах промежутка, на котором определена функция, и аппроксимативный дифференциал. Эти расчеты распространяются на комплексные функции остальных переменных параметров, изменяющихся в волновом колебании, т.е. на действительные и комплексные вектор – функции, как одно так и нескольких действительных переменных.

Для математического моделирования рабочих волновых параметров энергетических характеристик был создан испытательный лабораторный стенд (рис.2). Известно, что только решение математической задачи имеет физический смысл, т.е. адекватно исследуемому поведению механической системы, которое достаточно хорошо совпадает с экспериментальными результатами.

Математическое планирование эксперимента [2] упрощает и оптимизирует затраты во времени и числа испытаний при сохранении требуемой достоверности результатов. Нами выполнен анализ различных способов проведения экспериментов, соответствующих исследованиям поведения механической системы в рамках статики.

Основная задача при исследовании поведения механической системы в рамках статики – определение положений ее равновесия, соответствующих заданным значениям внешних нагрузок.

Знание установившихся значений координат необходимо для вывода уравнений движения волновых колебаний. Чтобы вывести дифференциальные уравнения, удобно по единообразным правилам расчленив систему на части и записать уравнения регулирования для каждой части волновой системы порознь.

Система (рис.3) автоматического регулирования стабилизации состояния волновых колебаний расчленяется на три элемента. Колебания поплавок под воздействием волновых изменений с датчиками A^1, B^1, C^1 являются входными и движение якоря генератора выходными – отклики параметрами волновой системы.

За главные критерии (рис.8) принимаем основные параметры которые рассматривают динамические и кинематические характеристики движущейся в морском пространстве волны. С учетом векторов $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}$ направление которых представлено линиями пересечения касательными поверхностями в точке M в направлениях осей X, σ, Y .

Поэтому при построении математической модели данные предоставлены на рис.8, и с числовыми данными на рис. 9, которые удобно описать алгебраическими, геометрическими и дифференциальными выражениями.

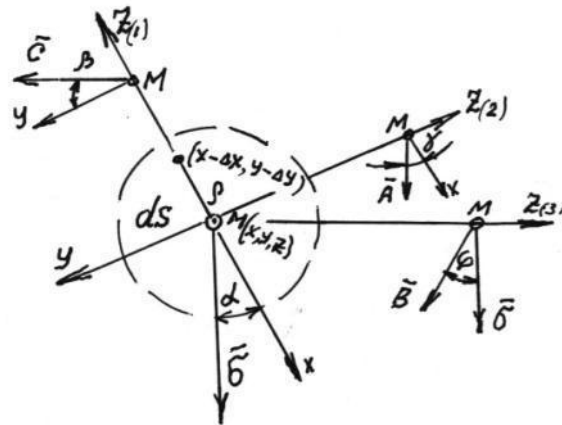


Рис. 8. Динамические и кинематические характеристики движущейся в морском пространстве волны

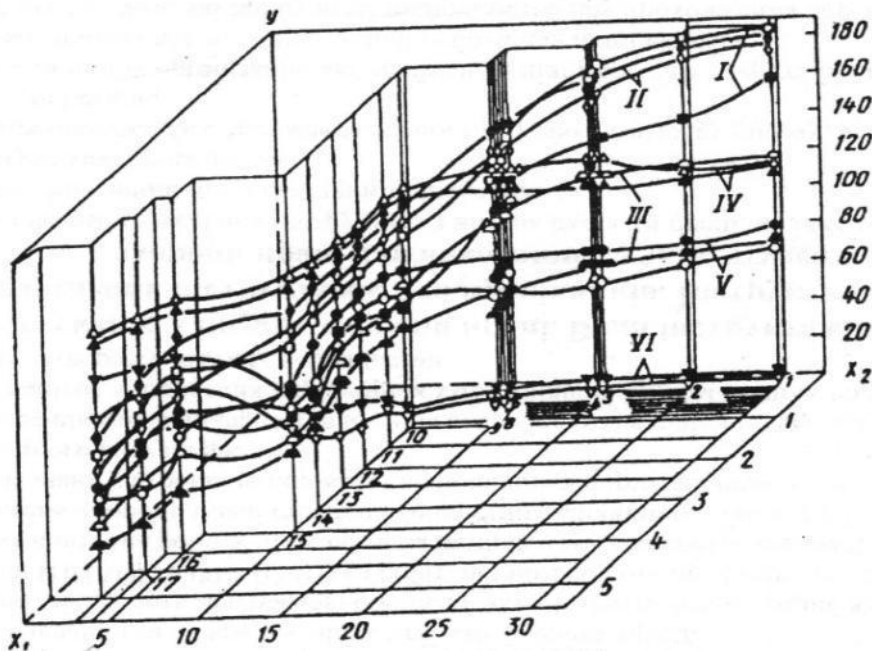


Рис. 9. График числовых зависимостей характерных рабочих параметров на крыле под действием волнового возмущения

Доминирующим параметром, воздействующим на поверхность крыла с переменным направлением $\alpha, \omega, \rho, \sigma, \varepsilon, h$ и др. учитываем, что $\frac{d\omega}{dt}; \frac{d\rho}{dt}; \frac{d\sigma}{dt}; \frac{d\varepsilon}{dt}; \frac{dh}{dt}$ и др. в принятой системе координат векторы $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}$ запишутся:

$$\begin{aligned} \vec{A} &= i - ktg\gamma \\ \vec{C} &= j - ktg\beta \\ \vec{B} &= \sigma - ktg\varphi, \end{aligned}$$

которые могут быть использованы в последующих расчетах по данным таблицы аналогий (рис.10).

Элементы гидромеханической системы	соответствие	Элементы электрической системы
<p>Источник давления $P_{12} = \text{const}$</p>	$P_{12} \rightarrow U_{12}$	<p>Источник напряжения $U_{12} = \text{const}$</p>
<p>Источник потока $Q_{12} = \text{const}$</p>	$Q_{12} \rightarrow J_{12}$	<p>Источник тока $J_{12} = \text{const}$</p>
<p>Гидравлическое сопротивление канала при ламинарном потоке (дроссель трения в виде капилляра или щели)</p> <p>$Q_{12} = G \cdot P_{12}$ $G_{12} = \text{const}$</p>	$\frac{1}{G_{12}} \rightarrow R_{12}$	<p>Омическое сопротивление</p>
<p>Инерция жидкости в канале при ламинарном потоке (дроссель трения в виде капилляра или щели)</p> <p>$P_{12} = \frac{\rho l}{F} \frac{dQ_{12}}{dt}$</p>	$\frac{\rho l}{F} \rightarrow L_{12}$	<p>индукция</p>
<p>Поршень с чисто инерционной нагрузкой</p> <p>$P_{12} = \frac{M}{F^2} \cdot \frac{dQ_{12}}{dt}$</p>	$\frac{M}{F^2} \rightarrow L_{12}$	<p>$U_{12} = L_{12} \frac{dJ_{12}}{dt}$</p>
<p>Поршень, нагруженный пружиной</p> <p>$P_{12} = \frac{j}{F^2} \int Q_{12} dt$</p>	$\frac{F^2}{j} \rightarrow C_{12}$	<p>ёмкость</p> <p>$P_{12} = \frac{1}{C_{12}} \int J_{12} dt$</p>
<p>сжимаемость жидкости ($Q = \frac{V_0}{E} \frac{dP}{dt}$) и упругость стенок полости</p> <p>$Q = K \frac{dP}{dt}$</p>	$\frac{V_0}{E} + K \rightarrow C_1$	<p>ёмкость</p> <p>$P_1 = \frac{1}{C_1} \int J_1 dt$</p>
<p>поршень, нагруженный только силой жидкостного трения $P_2 = K_2 \cdot \dot{x}$</p> <p>$Q_{12} = \frac{F}{K_2} P_{12}$</p>	$\frac{K_2}{F^2} \rightarrow R_{12}$	<p>омическое сопротивление</p> <p>$J_{12} = \frac{U_{12}}{R_{12}}$</p>

Рис.10. Схематические электрогидромеханические аналоги

Для дальнейшего составления математических зависимостей используем составленные ранее аналогии, представленные в табличной форме по переменным параметрам, описываемым аналогичными математическими зависимостями на рис.7 и 8 схематических электрогидромеханических аналогов. Тогда, соответственно, зависимость $\sigma = i\cos\alpha + isin\alpha$; то $B = -i\cos\alpha + jsin\alpha - ktg\varphi$.

Вследствие того, что все векторы принадлежат одной плоскости, касающейся точки М поверхности dS, смешанное произведение этих трех векторов равно нулю, т.е $|ABC| = 0$. Используя закономерности раскрытия определителя соответствующего порядка, находим смешанное произведение в рассмотренном примере определителя, составленного из координатных векторов:

$$- \operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \gamma \cos \alpha - \operatorname{tg} \beta \sin \alpha = 0; \quad \text{или} \quad \frac{d \operatorname{tg} \varphi}{dt} = \frac{d(\operatorname{tg} \gamma \cos \alpha)}{dt} - \frac{d(\operatorname{tg} \beta \sin \alpha)}{dt}.$$

Последующее рассмотрение волнового состояния переменных параметров на поверхности крыла под действием динамического нагружения приведет к кинематическим и геометрическим воздействиям.

Полученные математические зависимости могут быть использованы для проведения численного эксперимента проводимого кафедрой ОПП для обоснования целесообразности внедрения в производство конструктивных, геометрических и эксплуатационных характеристик рассмотренной методикой.

Выводы

Исходя из изложенного, выбор функционального описания устройства энергоустановки определялся основными целями моделирования;

- отработка вариантов алгоритма управления режимами работы устройств ВЭУ;
- минимизация мощности первичных источников энергии;
- получение ориентировочной стоимости установки и отдельных устройств.

Список использованной литературы

1. М.Я.Хитерер и др. Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения. Санкт-петербург, Корона принт. 20088,с.286,с.181.
2. [Http://rus.ferhri.ru/okhotsk/Meteo/ Meteo Volnenye regim.htm](http://rus.ferhri.ru/okhotsk/Meteo/Meteo_Volnenye_regim.htm). (Охотское море/ Метрология/ Волнение/Режим волнения)
3. Костогрыз А.П. Анализ механизма скольжения с автоматическим регулированием волны в зазоре (Машиностроение АН СССР// 1971. №6 с.94-98.
4. О.С. Попель. Автономные энергоустановки на возобновляемых источниках энергии. Энергосбережение. Специализированный журнал www.abok.ru.
5. Толстов Г.П. Элементы математического анализа 2изд. т.1-2.-М://Тр.Матем.ин-та АНСССР.-1974.-794с.
6. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления 7изд. т.1.-М://Тр. Матем ин-та АНСССР.-1969.-532с.
7. The NASA Surface Meteorology and Solar Energy Data Set // <http://eosweb.larc.gov/sse/>.
8. TRNSYS – The Transient System Simulation // <http://sel.me.wisc.edu/TRNSYS/>.
9. Костогрыз А.П. Контроль триотехнических характеристик несущих нагрузку зон упругодемпфирующих сверхвысокочастотных подвесов.//Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях./НАН Украины .-2007.-с.74-77
10. Костогрыз А.П. Анализ рабочих параметров податливых подвесов с учетом упругонапряженного состояния//Детали машин. –Респ. Межвед.научно-технич. С. – Киев. – 1981. Вып №32. – с.79-84.
11. Костогрыз А.П. Бесконтактное дифференциальное измерение несущих зон подвеса.// Вестник машиностроения. – М.-1986. -№12.-с.28-32.