

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРВИЧНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ ВОЛНОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Нгуен Тхань Хай, асп.

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

Аннотация. Установлена зависимость между длиной поверхности волны и длиной первичного преобразователя энергии волновой электростанции, при которой вырабатывается наибольшая мощность. На основе искусственной нейронной сети разработана система автоматического управления длиной первичного преобразователя энергии в зависимости от параметров волнового воздействия.

Ключевые слова: волновая электростанция, преобразователь энергии, искусственная нейронная сеть, система автоматического управления, энергопоглощающий элемент.

Анотація. Установлено залежність між довжиною поверхні хвилі та довжиною первинного перетворювача енергії хвильової електростанції, при якій виробляється найбільша потужність. На основі штучної нейронної мережі розроблено систему автоматичного керування довжиною первинного перетворювача енергії в залежності від параметрів хвильового впливу.

Ключові слова: хвильова електростанція, перетворювач енергії, штучна нейронна мережа, система автоматичного керування, енергопоглинаючий елемент.

Abstract. The dependence is determined between wave surface length and primary transducer length which gives maximum capacity. The automatic control system of primary transducer length depending on wave parameters is developed on the basis of artificial neural network.

Keywords: wave power station, transducer, artificial neuron network, automatic control system, energy-absorbing element.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Волновые электростанции (ВлЭС) относятся к перспективным возобновляемым источникам энергии, работа которых проходит в сложных изменчивых гидрометеоусловиях [1]. Эффективность работы ВлЭС обеспечивается правильностью выбора параметров конструкции ее механической части (МЧ). В настоящей работе рассматривается

ВлЭС, в которой в качестве первичного преобразователя энергии используется гибкий энергопоглощающий элемент (ЭПЭ) — гибкая лента изменяемой длины [5]. Такая ВлЭС может быть построена под конкретные параметры волнового воздействия для обеспечения максимума вырабатываемой мощности путем регулирования длины ЭПЭ. Выполнение такой настройки в автоматическом режиме обеспечит большую

производительность ВлЭС, поэтому синтез соответствующей системы автоматического управления (САУ) является актуальной научной задачей.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Сведения об автоматических регуляторах, применяемых для настройки параметров механической части ВлЭС, в научной литературе отсутствуют. Математическая модель ВлЭС [3] содержит сложные дифференциальные уравнения, которые рассчитываются только численными методами, поэтому для решения поставленной задачи необходимо использовать средства искусственного интеллекта [4].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ — исследование свойств механической части волновой электростанции и синтез системы автоматического управления длиной ее энергопоглощающего элемента в зависимости от параметров волны для обеспечения максимума вырабатываемой мощности.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Конструкция механической части ВлЭС содержит ЭПЭ — гибкую ленту, которая располагается на поверхности вдоль направления распространения волны. Гибкая лента соединена с валом ВлЭС рычагами через храповые механизмы — вертикальные перемещения ЭПЭ. Храповые механизмы обеспечивают вращение вала только в одном направлении. Вал ВлЭС с помощью насоса накачивает рабочую жидкость в гидроаккумулятор, и далее энергия гидроаккумулятора используется потребителем: преобразуется в электрическую энергию соответствующей частью ВлЭС.

К основным параметрам механической части ВлЭС относятся: длина несущей

рамы ВлЭС L_p ; длина ЭПЭ (гибкой ленты) L_n , этот параметр может оперативно изменяться в процессе эксплуатации ВлЭС, при этом $L_n \geq L_p$; ширина w , толщина b , масса m и коэффициент упругости k ЭПЭ; количество рычагов N_p , соединяющих ЭПЭ и вал ВлЭС посредством храповых механизмов, рычаги располагаются на одинаковом расстоянии друг от друга; длина рычага l_p , соединяющего ЭПЭ и вал ВлЭС, все рычаги имеют одинаковую длину; момент инерции вала ВлЭС J ; коэффициент k_a , учитывающий конструктивные особенности гидроаккумулятора.

Все параметры, кроме длины ЭПЭ L_n , являются конструктивными и не могут оперативно изменяться в процессе эксплуатации ВлЭС, поэтому в качестве управляющего воздействия остается параметр L_n .

Работа ВлЭС характеризуется параметрами, к основным из которых относятся: скорость вращения вала ВлЭС ω ; вырабатываемая ЭПЭ мощность P_v ; энергия E_a , накопленная в гидроаккумуляторе.

Эффективность ВлЭС характеризуется параметром P_n : чем больше вырабатываемая мощность, тем большую нагрузку можно подключить, поэтому регулируемой величиной является P_n , при этом система автоматического управления классифицируется как экстремальная [6].

Внешние возмущения, которые влияют на работу САУ, характеризуются параметрами волны, среди которых такие: амплитуда волны A , частота волны f , скорость распространения волны c . Также к внешним возмущениям относится потребляемая механическая мощность P_n .

Выберем для исследования такие параметры механической части ВлЭС: $L_p = 30$ м; $L_n = 35$ м; $w = 0,3$ м; $b = 2,5$ мм; $N_p = 10$ шт.; $l_p = 2$ м; $J = 36,3$ кг·м²;

$k_a = 20$. Зададим параметры волнового воздействия, соответствующие значительному (3...4 балла) волнению [2]: $A = 1$ м; $f = 4$ рад/с; $c = 5$ м/с.

Выполним моделирование работы ВлЭС без нагрузки ($P_n = 0$) при выбранных параметрах. Величина P_v характеризуется существенной неравномерностью. Это обусловлено непостоянством действия волны на ЭПЭ и соответственно рычагов на вал ВлЭС. Для упрощения анализа и синтеза САУ будем усреднять значение вырабатываемой мощности за промежуток времени $t_c = 10$ с. На работу САУ это не повлияет, поскольку нет необходимости реагировать на мгновенные изменения величины P_v . На рис. 1 изображены зависимости $P_{в.с} = f(t)$ и

$E_a = f(t)$, где $P_{в.с}$ — усредненное по времени значение P_v ; на рис. 2 — зависимость $P_{в.с} = f(E_a)$.

На графиках заметно некоторое утолщение линии $P_{в.с}$, что обусловлено колебаниями усредненной величины $P_{в.с}$ в пределах нескольких единиц ватт, т. к. мгновенная мощность P_v изменяется в широком диапазоне значений.

Результаты моделирования обнаружили важнейшее свойство механической части ВлЭС: вырабатываемая мощность $P_{в.с}$ зависит от энергии, накопленной гидроаккумулятором. На графике видно, что максимальная мощность, которую может вырабатывать ВлЭС при выбранных параметрах ее МЧ и волнового воздействия, составляет

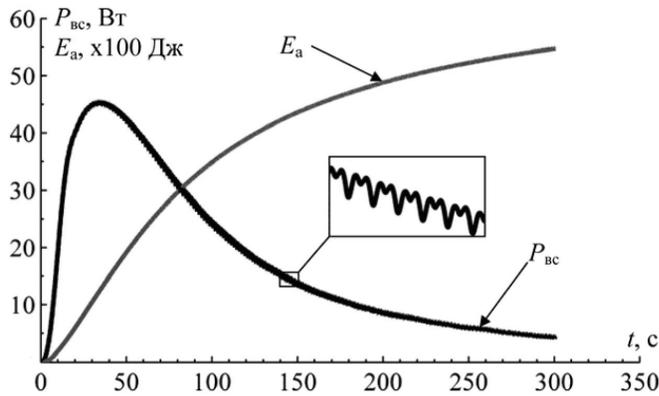


Рис. 1. Моделирование работы волновой электростанции за промежуток времени $t = 300$ с

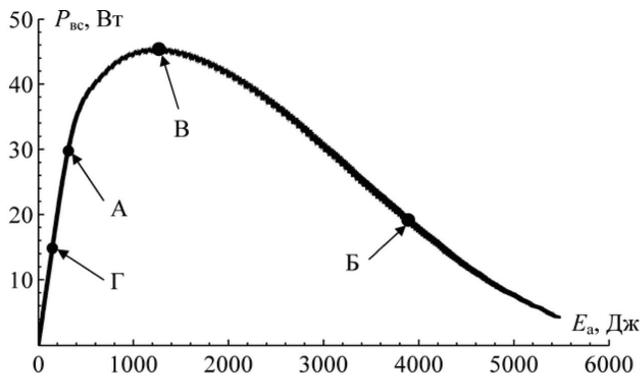


Рис. 2. Зависимость между вырабатываемой мощностью $P_{в.с}$ и накопленной гидроаккумулятором энергией E_a

$P_{\max} = 45$ Вт. При этом энергия гидроаккумулятора $E_a = 1200$ Дж.

Таким образом, если включить нагрузку, потребляющую механическую мощность, например $P_n = 20$ Вт в точке A , в которой $P_{в.с} = 30 > 20$ Вт, то энергия гидроаккумулятора будет продолжать увеличиваться с 200 до 3800 Дж к точке B , пройдя точку B , которая соответствует максимуму вырабатываемой мощности $P_{\max} = 45$ Вт. Если же нагрузку $P_n = 20$ Вт включить в точке Γ , где $P_{в.с} = 16 < 20$ Вт, то гидроаккумулятор в течение нескольких секунд потратит накопленную энергию и вырабатываемая мощность $P_{в.с}$ будет приблизительно равна нулю. Таким образом, перед подключением нагрузки нужно выделить некоторое время на накопление энергии гидроаккумулятором, пока вырабатываемая мощность $P_{в.с}$ не превысит значение P_n или не пройдет максимум (точку B). Из рис. 1 видно, что при выбранных параметрах для этого будет достаточно времени $t = 20$ с.

В работе было выполнено многовариантное моделирование ВлЭС с различными конструктивными параметрами

и параметрами волнового воздействия. Результаты моделирования показали, что характер зависимостей $P_{в.с} = f(t)$, $E_a = f(t)$ и $P_{в.с} = f(E_a)$ при различных конструктивных параметрах не изменяется, что является важным свойством ВлЭС. Кроме того, для каждого набора параметров волнового воздействия при неизменных конструктивных параметрах ВлЭС существует длина ЭПЭ $L_{л\max}$, обеспечивающая наибольшее значение величины P_{\max} . Полученные результаты дают возможность синтезировать САУ длиной ЭПЭ волновой электростанции, а также обоснованно выбирать оптимальные параметры ВлЭС для получения максимальной мощности при заданных параметрах волны.

Сложность математической модели ВлЭС, существенные нелинейности ее характеристик делают неприменимыми подходы классической теории автоматического управления для синтеза систем управления таким объектом. Для решения поставленной задачи предлагается САУ, которая учитывает особенности ВлЭС, выявленные в результате ее анализа (рис. 3).

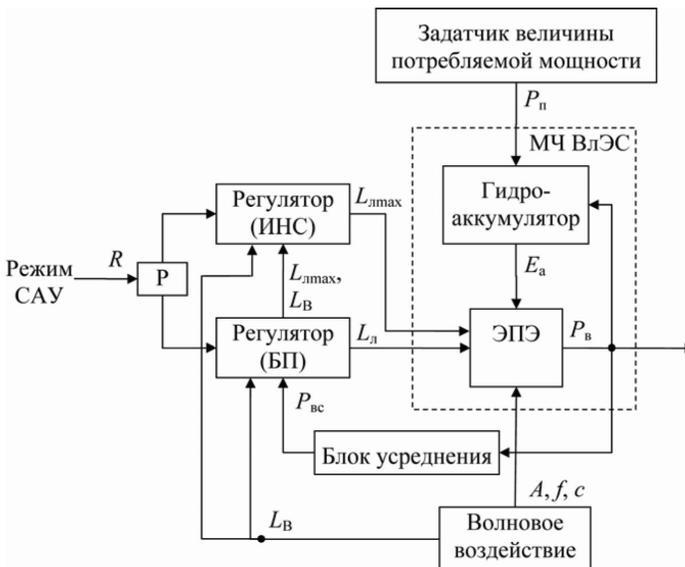


Рис. 3. Структура системы автоматического управления длиной энергопоглощающего элемента

Режим САУ задает значение величины R . Блок выбора режима P выполняет включение и отключение соответствующих регуляторов. При $R = 0$ или $R = 1$ длина ЭПЭ регулируется с помощью блока подбора (БП) длины ЭПЭ по соответствующему алгоритму: $R = 0$ — подбор длины начинается осуществляется при полном разряде гидроаккумулятора, $R = 1$ — подбор длины осуществляется периодически через фиксированные промежутки времени.

При этом в искусственной нейронной сети (ИНС) накапливаются данные в форме зависимости $L_{лmax} = f(L_b)$, где $L_b = f(A, f, c)$ — длина поверхности волны, и выполняется ее обучение. После завершения обучения задается режим $R = 2$, соответствующий управлению длиной ЭПЭ посредством обученной ИНС. При необходимости можно вы-

полнить дообучение нейронной сети, перейдя в режим $R = 0$ или $R = 1$. Таким образом, разработанная САУ состоит из регуляторов на основе блока подбора длины ЭПЭ и ИНС и обеспечивает управление длиной ЭПЭ в зависимости от параметров волнового воздействия. Алгоритм работы БП изображен на рис. 4.

Величина R определяет режим работы БП величины $L_{л}$. При $R = 0$ выполняется мониторинг величины заряда гидроаккумулятора E_a . При полном его разряде отключается нагрузка, т. е. $P_n = 0$. Далее выполняется подбор длины ЭПЭ для обеспечения максимально возможной величины P_{max} . После вывода P_{max} и $L_{лmax}$ блок подбора подключает нагрузку и если режим не изменился, то продолжает выполнять мониторинг величины E_a . При $R = 1$ выполняется

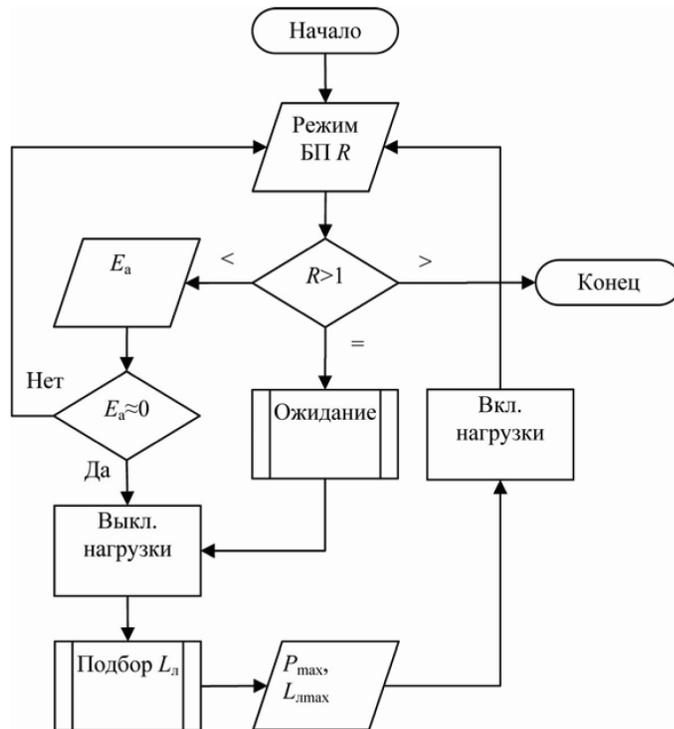


Рис. 4. Алгоритм работы системы автоматического управления энергопоглощающим элементом

подбор длины ЭПЭ через фиксированные интервалы времени, при $R > 1$ блок подбора завершает работу.

Отключение нагрузки является обязательным действием, поскольку иначе вырабатываемая мощность и соответственно энергия гидроаккумулятора будут иметь значения, приблизительно равные нулю. Непосредственно подбор величины L_d осуществляется путем наблюдения за величиной $P_{в.с.}$.

Для обучения нейронной сети методом компьютерного моделирования была сформирована обучающая выборка при параметрах волнового воздействия в пределах значительного и сильного волнений (4...6 баллов). При этом $A = 1, 2, 3$ м; $c = 5, 0; 7, 5; 10, 0$ м/с; $f = 1, 2, 3$ рад/с; шаг подбора $\Delta L_d = 0, 5$ м. Результаты моделирования дали возможность получить зависимость величины $L_{d,max}$ от длины поверхности волны L_b , при этом выяснилось, что влияние конкретных значений A, f, c несущественно:

$$L_{d,max} = f(L_b).$$

В качестве ИНС была выбрана нейронная сеть с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки (feedforward backpropagation network), для обучения была выбрана функция ошибки обуче-

ния Левенберга–Маркардта (Levenberg–Marquardt backpropagation network training function). В качестве функции активации был выбран сигмоид (гиперболический тангенс). Синтезированная ИНС содержит три скрытых слоя, в каждом по 5, 10 и 5 нейронов соответственно. Зависимость $L_{d,max} = f(L_b)$, которая реализована на основе нейронной сети, имеет вид, представленный на рис. 5.

Результаты моделирования работы ВлЭС при разных параметрах волны показали, что при расчете величины $L_{d,max}$ в зависимости от величины L_b с помощью синтезированной ИНС вырабатываемая мощность P_{max} лежит в пределах 91...100% ее наибольшего значения, что удовлетворяет поставленной задаче.

ВЫВОДЫ

1. На основе исследования свойств механической части волновой электростанции методом компьютерного моделирования установлена зависимость вырабатываемой энергопоглощающим элементом мощности от накопленной гидроаккумулятором энергии. Характер зависимости не изменяется при различных конструктивных параметрах ВлЭС и волнового воздействия, что дает возможность использовать установленную

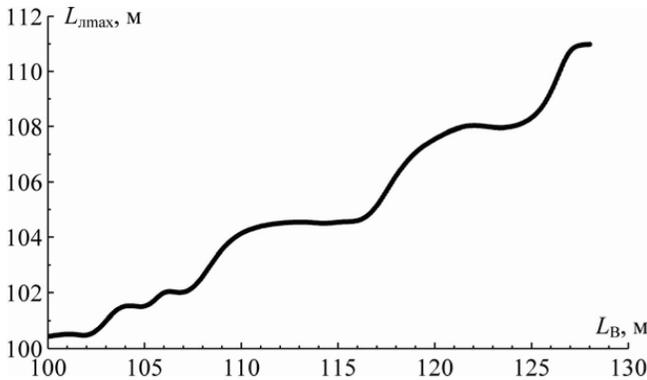


Рис. 5. Изображение зависимости $L_{d,max} = f(L_b)$, реализованной на основе искусственной нейронной сети

зависимость для синтеза системы автоматического управления длиной ЭПЭ.

2. Проанализировав свойства ВлЭС, был разработан блок подбора длины ЭПЭ, который обеспечивает максимальную при заданных параметрах волнового воздействия вырабатываемую мощность.

3. На основе анализа свойств ВлЭС установлена зависимость между длиной ЭПЭ, обеспечивающей наибольшую величину вырабатываемой мощности, и длиной поверхности волны. Установленная зависимость является теоретической основой синтеза регуляторов длины ЭПЭ.

4. С помощью блока подбора длины ЭПЭ, обеспечивающей наибольшую величину вырабатываемой мощности, методом компьютерного моделирования была получена обучающая выборка и синтезирована искусственная нейронная сеть как основа для САУ длиной ЭПЭ в зависимости от длины поверхности волны.

5. На основе блока подбора длины ЭПЭ и ИНС разработана система автоматического управления длиной ЭПЭ, которая обеспечивает максимальную при текущих параметрах волнового воздействия вырабатываемую мощность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Безруких, П. П.** Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии [Текст] / П. П. Безруких, Д. С. Стребков. — М. : ГНУ ВИЭСХ, 2005. — 264 с.
- [2] **Безруков, Ю. Ф.** Колебания уровня и волны в Мировом океане [Текст] : учеб. пособие / Ю. Ф. Безруков. — Симферополь : Таврический национальный университет им. В. И. Вернадского, 2001. — 50 с.
- [3] **Блинцов, А. В.** Математическое моделирование энергопоглощающего элемента волновой электростанции [Текст] / А. В. Блинцов, Нгуен Тхань Хай // Проблеми автоматизації та електрообладнання транспортних засобів : матеріали всеукраїн. наук.-техн. конф. з міжнар. участю. — Миколаїв : НУК, 2011. — С. 72–75.
- [4] Нейронні мережі в системах автоматизації [Текст] / В. І. Архангельський, І. М. Богаєнко, Г. Г. Габровський, М. О. Рюмшин. — К. : Техніка, 1999. — 364 с.
- [5] **Пат. 57968 Україна, МПК F03B13/12 (2006.1).** Пристрій для перетворення енергії хвиль водної поверхні [Текст] / В. С. Блінцов, Нгуен Тхань Хай ; заявник та патентовласник Національний університет кораблебудування ; заявл. 10.08.2010 ; опубл. 25.03.2011, Бюл. № 6.
- [6] **Попович, М. Г.** Теорія автоматичного керування [Текст] : підручник / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук. — 2-ге вид., перероб. і доп. — К. : Либідь, 2007. — 656 с.