
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КИСЛОГУБСКОЙ ПРИЛИВНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЭС

Е.Ф. Султанова¹, С.Н. Сидоренко²,
В.С. Орлова²

¹ОАО «НИИЭС»

Строительный проезд, 7, Москва, Россия, 125363

²Российский университет дружбы народов
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 113093

В статье рассматривается возможность применения имитационной экологической модели ПЭС для оценки влияния приливной электростанции на окружающую среду на примере Кислогубской ПЭС.

Ключевые слова: приливная электростанция, имитационная экологическая модель, метод анализа иерархий, ихтиофауна, зоопланктон, антропогенное воздействие.

Приливные электростанции (ПЭС) относятся к возобновляемым экологически чистым источникам энергии. Однако как любой вид антропогенной активности они оказывают воздействие на окружающую среду, которое в настоящее время является недостаточно изученным и систематизированным в силу малого количества объектов приливной энергетики, возведенных в мире [1]. В последнее десятилетие в результате обострения проблемы истощения ископаемых энергетических ресурсов интерес к приливной энергетике сильно возрос. В 2011 г. была запущена приливная электростанция в Южной Корее, ПЭС Сихва. Планируется строительство приливных электростанций в Аргентине, Чили, Великобритании. В этой связи возникает необходимость глубокого анализа воздействия ПЭС на природную среду и поиска путей прогнозирования экологических последствий возведения подобных объектов [5; 6]. Для достижения поставленной цели нами была предложена имитационная экологическая модель приливной электростанции, которая представляет собой систему взаимодействия трех компонентов: абиотического, биотического и антропогенного.

Абиотический компонент системы описывает состояние неорганических параметров, оказывающих косвенное или прямое воздействие на живую среду. К абиотическим показателям системы «бассейн ПЭС — море» можно отнести климатические условия среды, гидрохимические показатели, гидродинамические характеристики, отражающие амплитуду колебаний приливо-отливных течений, степень водообмена залива с морем, скорость и направление течений.

Биотический компонент в экологической модели представлен совокупностью живых организмов, обитающих в зоне экологического воздействия ПЭС, таких как бассейн станции и прилегающая к плотине морская зона, ограниченная зоной действия агрегатного блока, характеризующейся проходящими через него приливо-отливными течениями.

Антропогенный компонент системы — это механизм и инструменты воздействия человека на окружающую среду. К антропогенным факторам системы относятся здание ПЭС, гидроагрегаты, плотина, вспомогательные строения, осуществление антропогенной деятельности (строительные, ремонтные и другие работы) и т.п. Антропогенный компонент оказывает как прямое влияние на биотический компонент, так и косвенное через абиотическую составляющую [8; 9].

На этапе концептуального построения имитационной экологической модели ПЭС нами были выделены основные параметры абиотического, биотического и антропогенного компонентов системы, которые репрезентативно отражают взаимодействия внутри экологической системы ПЭС (табл. 1).

Таблица 1

Основные параметры компонентов экологической системы ПЭС

Абиотические	Биотические	Антропогенные
Концентрация кислорода в воде	Зоопланктон	Степень антропогенной активности
Степень изменения водообмена	Ихтиофауна	Площадь территории изъятой под строительство
Степень изменения гидрохимического режима в бассейне	—	Изменение условий естественного воспроизводства
Степень изменения термического и ледового режимов в бассейне	—	Расход и график течения воды через структуры ПЭС

На основе выявленных параметров методом анализа иерархий (МАИ) была разработана иерархическая модель их взаимодействия (рис. 1). Согласно МАИ параметры системы имеют четыре типа связей: между биотическими компонентами; между абиотическими компонентами; между абиотическими и биотическими компонентами; между антропогенными и всеми остальными компонентами системы.



Рис. 1. Имитационная экологическая модель ПЭС

В результате анализа международного опыта эксплуатации ПЭС между составляющими компонентами были установлены связи, благодаря чему имитационная экологическая модель ПЭС может быть представлена в виде ориентированного графа (рис. 2.) [10; 11]:

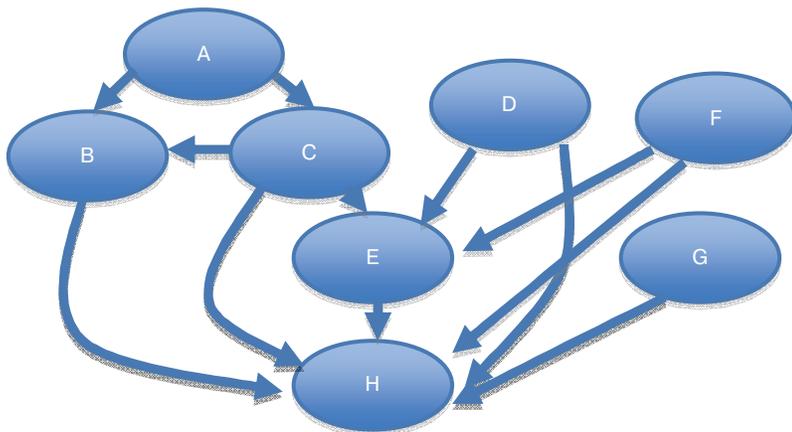


Рис. 2. Ориентированный граф имитационной экологической модели ПЭС

Таким образом, мы получаем следующие пути, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Пути ориентированного графа имитационной экологической модели ПЭС

Путь			
A	D	F	G
$AH_1 = AB+BH$	$DH_1 = DE+EH$	$FH_1 = FE+EH$	$GH = GH$
$AH_2 = AC+CH$	$DH_2 = DH$	$FH_2 = FH$	
$AH_3 = AC+CB+BH$	—	—	—
$AH_4 = AC+CE+EH$	—	—	—

Для изучения характеристик сети необходимо определить значения узлов потока, протекающих от источников к стоку Н, что позволит нам выявить путь с наиболее сильным потоком и, таким образом, определить фактор среды, который оказывает наибольший негативный эффект на ихтиофауну ПЭС [7].

В основу имитационной модели Кислогубской ПЭС были положены данные, полученные в результате научно-исследовательской работы в Губе Кислой Баренцева моря, и оценки общего экологического влияния Кислогубской приливной электростанции на отсеченный водоем, проведенной сотрудниками МГУ в период с 1984 по 1985 гг., а также фоновые значения, полученные в результате натурных экспедиций в Ура Губе, которая обладает схожими экологическими параметрами среды (табл. 3) [2; 3]. Изменение состояния параметров системы оценивается в процентном отношении от изначального значения показателей до строительства приливной станции и имеет градацию из пяти уровней, которая определяет степень нарушения окружающей среды и силу воздействия антропогенных факторов.

Таблица 3

Расчетные данные имитационной экологической модели Кислогубской ПЭС

Буквенное наименование	Фактор	Фактическое значение до строительства ПЭС	Фактическое значение после строительства ПЭС
A	Расход воды через структуры ПЭС	116,3 м ³ /с	49,8 м ³ /с
B	Концентрация кислорода в воде	103,4%	64%
C	Степень изменения водообмена	100%	49% (по оптимальному графику работы ПЭС)
D	Степень антропогенной активности	—	—
F	Площадь территории изъятой под строительство	1,092 · 10 ⁶ м ²	786,9 м ²
G	Степень безопасности гидробионтов	—	—
E	Показатель состояния зоопланктона	3454 экз/м ³	1 966,5 экз/м ³
H	Показатель состояния ихтиофауны	11 видов	1 вид

Степень антропогенной активности была рассчитана согласно балльной системе, при которой были оценены самые важные факторы антропогенного давления на окружающую среду в период строительства и эксплуатации ПЭС (табл. 4).

Таблица 4

Степень антропогенной активности для Кислогубской ПЭС

Антропогенная активность	Баллы
Загрязнение атмосферного воздуха выбросами загрязняющих веществ при работе строительных машин и механизмов	4
Загрязнение водных объектов нефтепродуктами и другими вредными химическими соединениями, всего	11
в т.ч. активизация судоходства	5
проведение подводных строительных работ	4
протечки, аварии	2
Механические нарушения целостности почвенного покрова, нарушение целостности растительного покрова, загрязнение почв нефтепродуктами, всего	14
в т.ч. работа техники	5
прокладка автодорог	2
складирование строительных материалов	2
сооружение временных построек	5
Проявление фактора беспокойства при шумовых воздействиях, всего	15
в т.ч. возведение новых строительных поселков	5
увеличение антропогенной популяции	3
проведение донных работ	3
интенсификация транспортной активности на воде и на суше	4
Сокращение площадей местообитаний отдельных животных, нарушение путей миграции и условий среды обитания наземных животных, всего	27
в т.ч. ограничение водообмена между заливом и морем	10
осушение бассейна в период строительства ПЭС	10
проведение строительных работ в период сезонной миграции местных популяций животных	7

В результате были получены следующие значения показателей имитационной экологической модели ПЭС (табл. 5)

Таблица 5

**Значение показателей имитационной экологической модели
Кислогубской ПЭС (%)**

Буквенное наименование	Фактор	Значение показателя до строительства	Значения показателя после возведения ПЭС, 1984 г.
A	Расход воды через структуры ПЭС	100	42,6
B	Концентрация кислорода в воде	100	64
C	Степень изменения водообмена	100	49
D	Степень антропогенной активности	0	71
F	Площадь территории изъятой под строительство	0	0,072
G	Степень безопасности гидробионтов	100	7,85
E	Показатель состояния зоопланктона	100	56,9
H	Показатель состояния ихтиофауны	100	9

Расчет производился с учетом пяти основных направлений антропогенного влияния на окружающую среду при строительстве и эксплуатации ПЭС: загрязнение атмосферы, загрязнение нефтепродуктами, загрязнение и нарушение почвенного покрова, фактор беспокойства при шумовых воздействиях, нарушение путей миграции и условий среды обитания наземных животных. В результате проведенного анализа были получены следующие значения показателей имитационной экологической модели ПЭС после возведения Кислогубской ПЭС (табл. 6).

Таблица 6

**Определение степени изменения состояния показателей
после возведения Кислогубской ПЭС**

Буквенное наименование	Фактор	Значения показателя после возведения ПЭС, 1984 г., %	Характеристика
A	Расход воды через структуры ПЭС	42,6	Нарушенный
B	Концентрация кислорода в воде	64	Загрязненные воды
C	Степень изменения водообмена	49	Нарушенный
D	Степень антропогенной активности	71	Сильная
F	Площадь территории изъятой под строительство	0,072	Очень маленькая
G	Степень безопасности гидробионтов	7,85	Очень низкая
E	Показатель состояния зоопланктона	56,9	Нарушенный
H	Показатель состояния ихтиофауны	9	Деградирувавшая

Согласно полученным значениям потоков орграфа имитационной экологической модели ПЭС, представленным в табл. 6, наименьшее воздействие после строительства станции оказывает фактор F (Площадь территорий изъятых под строительство). Фактор A (Расход воды через структуры ПЭС) имеет наибольшее количество потоков в имитационной системе, и является единственным, который затрагивает как абиотические, так и биотические показатели. Общее значение потоков от фактора A после строительства ПЭС уменьшились более чем в 2 раза. Значение потока GH после строительства сократился в 13 раз.

Для того, чтобы проанализировать изменение потоков на каждом пути от факторов воздействия до конечного реципиента, ихтиофауны, мы сравнили максимальные значения потоков, характерные для естественного состояния среды, со значениями, полученными после строительства ПЭС (табл. 7).

Таблица 7

Значения потоков орграфа имитационной экологической модели ПЭС до и после строительства Кислогубской ПЭС

Путь	Значение потока, баллы	
	до строительства ПЭС	после строительства ПЭС
АН ₁	203	106,6
АН ₂	200	91,6
АН ₃	303	148,6
АН ₄	300	148,5
ДН ₁	200	84,9
ДН ₂	100	28
FN ₁	100	84,9
FN ₂	100	99,9
GH	100	7,85

С целью определения значений весовых коэффициентов ПЭС три эксперта из Научно-исследовательского института энергетических сооружений, а также Института Гидропроект провели оценку показателей имитационной экологической модели ПЭС для Кислогубской ПЭС согласно методу анализа иерархий (табл. 8), согласно которому определение приоритетов факторов низшего уровня (антропогенные показатели) относительно высшего уровня (биотические показатели) может быть сведено к последовательности задач определения приоритетов для каждого уровня, а каждая такая задача — к последовательности попарных сравнений. Результаты парных сравнений представляют в виде матрицы $X = (x_{ij})$. Здесь x_{ij} означает отношение весов соответствующих факторов, поэтому должно выполняться условие «антисимметричности» [4]:

$$x_{ij} = \frac{1}{x_{ji}}.$$

Весовые коэффициенты, полученные методом математической обработки мнений трех экспертов, усредняются для каждого показателя в отдельности методом поиска среднего арифметического:

$$\widehat{k}_a = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m k_i,$$

где k_i — вес фактора для i -эксперта.

Таблица 8

Весовые коэффициенты показателей имитационной экологической модели ПЭС

Показатель	Значение весового коэффициента
Антропогенные показатели	
Расход воды через структуры ПЭС (A)	0,311
Степень антропогенной активности (D)	0,053
Показатель степени изъятия территорий под строительство (F)	0,081
Степень безопасности гидробионтов (G)	0,552
Абиотические показатели	
Показатель концентрации кислорода в воде (B)	0,66
Показатель степени изменения водообмена (C)	0,353
Биотические показатели	
Показатель состояния зоопланктона (E)	0,613
Показатель состояния ихтиофауны (H)	0,338

Согласно данным, представленным в таблице, значения весовых показателей, полученные экспертным методом, подтверждают распределение антропогенных факторов имитационной экологической модели по степени их важности. Таким образом, анализ опыта эксплуатации Кислогубской ПЭС с помощью имитационной экологической модели показал, что возведение ПЭС отрицательно сказалось как на биотических, так и абиотических факторах природной среды. В наибольшей степени снизилась безопасность гидробионтов, и произошла полная деградация ихтиофауны. Наибольшее воздействие на природную среду оказывают следующие показатели: расход воды через структуры ПЭС и степень безопасности гидробионтов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Берштейн Л.Б., Силаков В.Н., Гельфер С.Л. и др. Приливные электростанции. Кн. 2. — М.: АО «Институт Гидропроект», 1994.
- [2] Марфенин Н.Н., Малютин О.И., Пантюлин А.Н. и др. Влияние приливных электростанций на окружающую среду. — М.: Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 1995.
- [3] Разработка рекомендаций по оценке воздействия Кислогубской ПЭС на морскую экосистему ее бассейна с проведением натурных наблюдений: отчет МГУ им. Ломоносова по договору № 01-59/91 с Гидропроектом. — М., 1991.
- [4] Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. — М.: Издательство ЛКИ, 2008
- [5] Усачев И.Н., Суздалева А.Л., Безносков В.Н. ПЭС и окружающая среда: пути экологической оптимизации // Гидротехническое строительство. — 2009. — № 7.

- [6] *Усачев И.Н., Марфенин Н.Н.* Экологическая безопасность приливных электростанций // Гидротехническое строительство. — 1998. — № 12. — С. 19—24.
- [7] *Филлипс Д., Гарсиа-Диас А.* Методы анализа сетей / Пер. с англ. — М.: Мир, 1984.
- [8] *Fedorov M.P., Usachev I.N., Suzdaleva A.L., Sultanova E.F., Demidenko N.A.* Ecological aspects of tidal powerplants. Marine Energy Supplement to The International Journal on Hydropower & Dams, 2009.
- [9] *Sultanova E.F., Sobolev V.Y.* Analysis of biological safety of orthogonal turbine, Poster Presentation, 9th European Wave and Tidal Energy Conference, University of Southampton, 5—9 September, 2011.
- [10] *Ware G.C., Anson A.E.* The bacteriology of the Severn Estuary Tidal Power and estuary Management, Thirtieth Symposium of the Colston Research Society, University of Bristol, April, 1978, pp 273—279.
- [11] *Shpolyanski Yu.B., Usachev I.N., Istorik B.L.* Russian tidal and wave power development: experience of the Kislogubskaya tidal power plant. Marine Energy Supplement to The International Journal on Hydropower & Dams, 2009.

USAGE OF ECOLOGICAL SIMULATION MODEL TO ASSESS ENVIRONMENTAL IMPACT OF KISLOGUBSKAYA TIDAL POWER PLANT

**E.F. Sultanova¹, S.N. Sidorenko²,
V.S. Orlova²**

¹JSC «NIIES»

Stroitelnyy proyezd, 7, Moscow, Russia, 125363

²People's Friendship University of Russia

Podolskoye Shosse, 8/5, Moscow, Russia. 113093

This article describes the environmental impact assessment of The Kislogubskaya TPP based on the usage of ecological simulation model.

Key words: tidal power plant, ecological simulation model, method of analysis of hierarchies, fishes, zooplankton, human impact.