
ЗАГАЛЬНОНАУКОВІ І СПЕЦІАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК [551.506:519.233.5]:[621.311.25:556.55]

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПРУДА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЗАПОРОЖСКОЙ АЭС

Н.В. Бейнер, асп., П.С. Бейнер, асп., Д.В. Моисеев, к.т.н.

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

Проанализировано влияние погодных условий на охлаждающую способность гидротехнических сооружений, в том числе на пруд-охладитель. Представлены основные результаты регрессионного и корреляционного анализа влияния метеопараметров на температуру водоема-охладителя.

Введение

Ежегодно Запорожская АЭС производит около 40 млрд кВт·ч электроэнергии, которая составляет пятую часть общегодового производства электроэнергии в государстве и половину ее производства на украинских атомных станциях. На эффективность работы АЭС непосредственное влияние оказывает охлаждающая способность гидроохладителей [1].

Под гидроохладителем подразумевается гидротехническое сооружение, используемое для охлаждения циркуляционной воды (водоем-охладитель, градирни, брызгальные бассейны) [2, 3]. Их основная задача – обеспечить экономический вакуум в конденсаторах турбин с необходимыми параметрами и объемом охлаждающей воды.

Расчет обеспеченности конденсационной мощности существующей циркуляционной системы проводится на основе графиков, определяющих зависимость располагаемой электрической мощности ($N_{э\text{ расп}}$) от метеофакторов [4]. Таким образом, происходит нормирование основного показателя работы гидроохладителей – температуры охлаждаемой воды в зависимости от режимных условий эксплуатации и метеорологических факторов.

На рассматриваемом объекте (Запорожская АЭС) в технологическом процессе для охлаждения циркуляционных вод используются линейные гидротехнические сооружения (ГТС), в состав которых входит пруд-охладитель. Так как пруд представляет собой зарегулированный водоем, то непосредственное влияние на него оказывают как антропогенные, так и природные факторы. Метеорологические условия оказывают существенное влияние на формирование гидротермического режима водоема. Таким образом, зная предварительно метеоданные на 2-3 дня вперед (краткосрочное прогнозирование), можно адекватно выбирать режим работы АЭС.

Правильное и своевременное использование метеорологической информации в энергетике позволяет добиться значительного экономического эффекта. Поэтому прогнозирование влияния метеорологических величин на температуру пруда является актуальной задачей на сегодняшний день.

Постановка цели и задач научного исследования

Целью работы является проведение анализа влияния метеорологических факторов на температуру воды в пруде-охладителе для построения адекватной математической модели гидротермического режима водоема.

Для достижения поставленной цели необходимо:

1. Рассмотреть влияние погодных условий на охлаждающую способность гидротехнических сооружений АЭС.
2. Провести корреляционный анализ зависимости температуры воды от метеорологических факторов.

Влияние погодных условий на охлаждающую способность ГТС

Гидротермический режим водоема-охладителя формируется приходно-расходными элементами водного баланса (притоком, осадками, испарением, фильтрацией через дно и берега), волнами, сгонами и нагонами, а также под воздействием солнечной радиации [5].

Осадки выражаются слоем воды (в миллиметрах), равномерно распределенным на площади, покрытой дождем. Дожди характеризуются суммой осадков и продолжительностью их выпадения.

Если сумма приходных элементов больше расходных, то уровень воды повышается, и наоборот, когда расход воды больше притока, уровень понижается. В отдельные периоды уровни воды в водоеме колеблются в довольно широких пределах, что зависит от метеорологических условий всего бассейна.

В пруде-охладителе ЗАЭС выполняются продувка и подпитка с Каховского водохранилища для регулирования водно-солевого баланса. Таким образом, на уровень воды можно оказывать непосредственное влияние искусственно.

Существенное влияние на уровень и температуру воды в водоеме оказывает ветер. В данном случае важным является его направление. При длительном ветре одного и того же направления поверхность озера может принять вместо горизонтального положения наклонное. Ветер вызывает у наветренного берега скопление воды и повышение уровня (нагон); у подветренного берега происходит понижение уровня (сгон). Такое изменение уровня приводит к наклону водной поверхности. Из-за этого усиливается течение в направлении понижения, что приводит к восстановлению единого уровня.

Учитывая тот факт, что к ГТС относятся брызгальные бассейны с мелкодисперсными соплами, то направление и сила ветра играют значимую роль.

Помимо сбрасываемых подогретых циркуляционных вод на тепловой режим водоема существенное влияние оказывает солнечная энергия. Обладая большой теплоемкостью, вода является аккумулятором тепла. Благодаря ветровому перемешиванию температура воды в верхних слоях озера выравнена до определенной глубины. С понижением температуры по глубине повышается плотность водной массы. Такое распределение температуры называется прямой термической стратификацией.

Изменение температуры воды так же, как и изменение температуры воздуха, имеет несколько циклов - суточный, годовой и многолетний. Амплитуда изменения температуры воды меньше, чем воздуха.

Таким образом, на охлаждающую способность ГТС погодные условия, такие как температура воздуха, осадки, скорость и направление ветра и другие, оказывают непосредственное влияние. Это связано с тем, что рассматриваемые гидроохладители представляют техно-экосистему, то есть сочетают в себе водную экосистему и технические объекты.

Корреляционный анализ зависимости гидротермического режима сбросного канала от метеорологических факторов

Для составления адекватной математической модели температурного режима пруда-охладителя ЗАЭС в первую очередь необходимо сформулировать и обосновать ее начальные условия. Для этого нужно определиться, какие из входных параметров имеют вес, а какими можно пренебречь.

Для того чтобы выявить объективную связь между влиянием различных метеорологических параметров на температурный режим водоема, проведем корреляционный анализ. Основной задачей корреляционного анализа является определение аналитической зависимости результирующего (зависящего) признака y от факторных (независимых) признаков x_i . В роли результирующего признака будет выступать температура воды в пруде.

В качестве факторных признаков рассмотрим следующие параметры:

1. Среднесуточную температура воздуха.
2. Скорость ветра.
3. Атмосферное давление.
4. Количество атмосферных осадков.

Для начала выявим наличие взаимосвязи между температурой воды в сбросном канале и среднесуточной температурой воздуха. Открытый сбросной канал предназначен для отвода нагретой циркуляционной воды в пруд-охладитель и в брызгальные бассейны № 1 и № 2. Пусть Y – температура воды в сбросном канале – зависимая, а X – температура воздуха – независимая переменная. Для каждого подмножества $\{N_{ij}\}$ имеется выборка парных данных $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$. Значения, которые принимает величина X , фиксируются, то есть $X = x_i$, где $i = \overline{1, n}$. В подмножестве $\{N_{ij}\}$ каждому x_i соответствует $Y = y_i$, при этом Y является случайной величиной.

На рис. 1 представлена диаграмма рассеяния зависимости между среднесуточной температурой окружающей среды и температурой воды в сбросном канале ЗАЭС за 2012 год – графическое изображение точек $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ на плоскости XU , анализируя которые, можно эмпирически решить, допустимо ли предположение о линейной зависимости между X и Y .

Графическая интерпретация позволяет уже по внешнему виду диаграммы рассеяния построить линейную зависимость – линейную регрессию температуры воды в водоеме от значения температуры окружающей среды в определенный промежуток времени.

На основании поля корреляции можно выдвинуть гипотезу (для генеральной совокупности) о том, что связь между всеми возможными значениями X и Y носит линейный характер. Теоретическая модель задается уравнениями вида

$$y_i = bx_i + a + e_i, \quad (1)$$

где $i = \overline{1, n}$ и называется моделью простой линейной регрессии Y по X . Величины a и b – соответственно оценки параметров α и β регрессионной модели, которые следует найти, а e_i – некоррелированные ошибки случайной переменной.

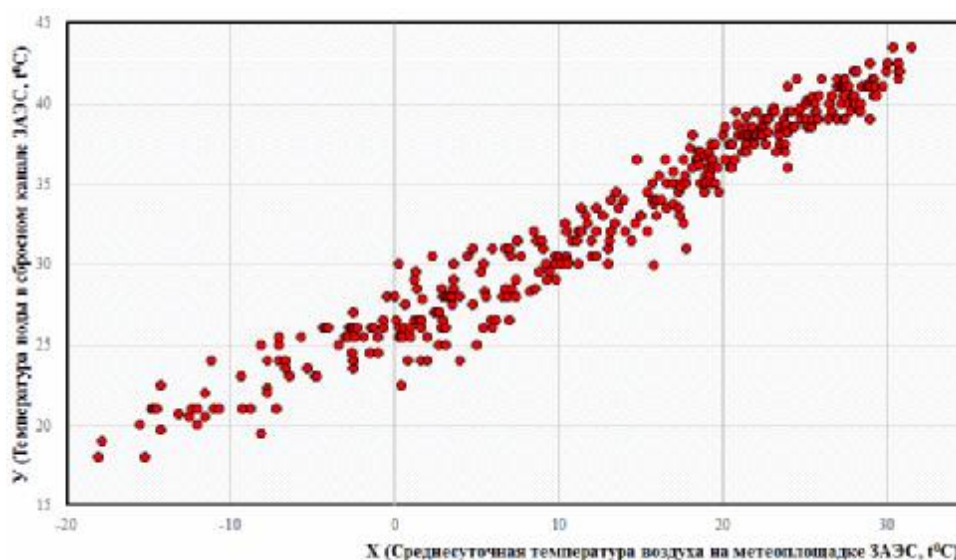


Рис. 1. График зависимости между среднесуточной температурой окружающей среды и температурой воды в сбросном канале ЗАЭС за 2012 год ($n = 366$)

Так как отклонения e_i для каждого конкретного наблюдения i – случайны и их значения в выборке неизвестны, то:

- по наблюдениям x_i и y_i можно получить только оценки параметров α и β ;
- оценками параметров α и β регрессионной модели являются соответственно величины $\hat{\alpha}$ и $\hat{\beta}$, которые носят случайный характер, так как соответствуют случайной выборке.

Для оценки параметров α и β используем метод наименьших квадратов (МНК). МНК дает наилучшие (состоятельные, эффективные и несмещенные) оценки параметров уравнения регрессии [6, 7]. Согласно МНК, коэффициенты a и b выбираются таким образом, чтобы сумма квадратов отклонений эмпирических групповых средних \bar{y}_i от значений y_i была минимальной.

Формально критерий МНК можно записать так:

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

где \bar{y}_i – групповые средние значения.

Производя расчет, получаем эмпирические коэффициенты регрессии: $b = 0,5076$; $a = 26,3043$. Тогда уравнение регрессии примет вид

$$y = 0,5x + 26,3. \quad (3)$$

На рис. 2 представлена линия регрессии, которая характеризуется тем, что сумма квадратов расстояний от точек на диаграмме рассеивания до этой линии минимальна (по сравнению со всеми возможными другими линиями). Линия регрессии дает наилучшее приближенное описание линейной зависимости между рассматриваемыми переменными.

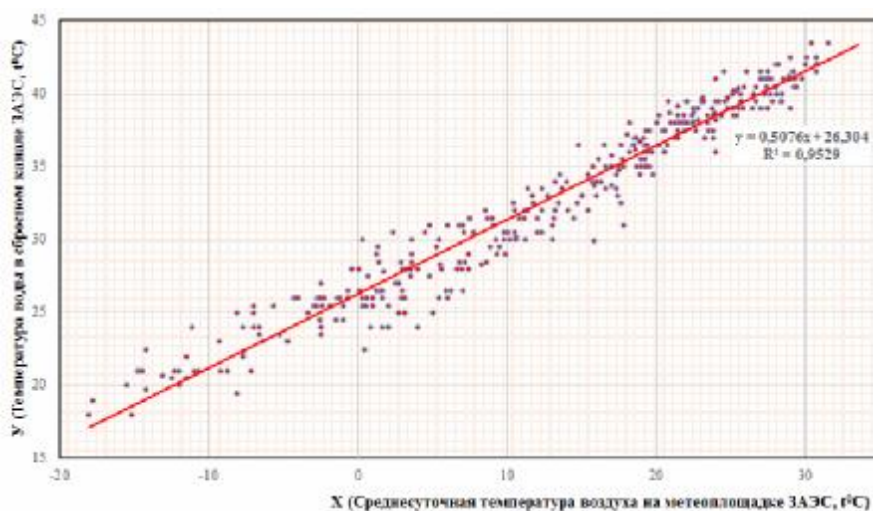


Рис. 2. Линия регрессии, описывающая зависимость между среднесуточной температурой окружающей среды и температурой воды в сбросном канале

Получив уравнение регрессии, необходимо провести оценку его значимости. Проверка значимости уравнения регрессии предполагает выяснение ответов на два важных вопроса:

- соответствует ли математическая модель, выражающая зависимость между переменными, экспериментальным данным;
- достаточно ли включенных в уравнение объясняющих переменных для описания зависимой переменной.

Точность построенной модели регрессии оценили по средней квадратической ошибке:

$$e_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{y}_i - y_i)^2}{n}} = 1,38, \quad (4)$$

где \tilde{y}_i – среднее значение зависимой переменной y .

Для оценки качества модели используем среднюю ошибку аппроксимации, которая представляет собой среднее относительное отклонение расчетных значений от наблюдаемых:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \tilde{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\%. \quad (5)$$

В результате расчетов $\bar{A} = 3,64\%$. Поскольку ошибка не превышает 8...10 %, то уравнение (3) можно использовать в качестве регрессии.

В основе проверки значимости регрессии лежит идея разложения дисперсии (разброса) результативного признака на факторную $D_{\text{факт}}$ и остаточную $D_{\text{ост}}$ дисперсии, то есть объясненную (за счет независимых факторов) часть дисперсии и часть, оставшуюся необъясненной в рамках данной модели:

$$D_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 \text{ – общая дисперсия;}$$

$D_{\text{факт}} = \sum_{i=1}^n (\tilde{y}_i - \bar{y})^2$ – факторная (объясненная) дисперсия;

$D_{\text{ост}} = \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2$ – остаточная (необъясненная) дисперсия.

Долю дисперсии одного признака, объясняемую влиянием другого, определяет коэффициент детерминации

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (6)$$

где $n = 366$ – количество наблюдений;

y_i – данные наблюдений (значения среднесуточной температуры воды в сбросном канале за отчетный 2012 год);

\bar{y} – среднее значение переменной y ;

\tilde{y}_i – расчетные значения переменной y , вычисленные по уравнению регрессии.

Чем ближе величина R^2 к единице, тем лучше уравнение регрессии согласуется с данными наблюдений. В результате расчетов получили $R^2 = 0,95$. Это означает, что уравнение регрессии объясняет 95 % общей дисперсии (вариации) результативного признака y .

Сопоставляя факторную $D_{\text{факт}}$ и остаточную $D_{\text{ост}}$ дисперсии в расчете на одну степень свободы, получим величину F -отношения (F -критерия):

$$F = \frac{D_{\text{факт}}}{D_{\text{ост}}}, \quad (7)$$

где F -критерий для проверки нулевой гипотезы $H_0 : D_{\text{факт}} = D_{\text{ост}}$.

Справедливость нулевой гипотезы означает, что на результативный признак y в равной степени влияют и независимая (факторная) переменная x , и необъясненные факторы – уравнение регрессии не значимо. Чтобы уравнение регрессии было значимым, необходимо, чтобы факторная дисперсия превышала остаточную в несколько раз. После проведения статистической проверки полученного уравнения нулевая гипотеза была отвергнута.

Оценка статистической значимости уравнения регрессии в целом осуществляется с помощью F -критерия Фишера. Расчетное значение F -критерия Фишера можно определить по выражению

$$F_p = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - p - 1}{p}, \quad (8)$$

где p – число параметров при факторных переменных. Для парной линейной регрессии $p = 1$.

При уровне значимости $\alpha = 0,05$ и степенях свободы $k_1 = p$ и $k_2 = n - p - 1$ определили табличное значение $F_{\text{табл}} = 3,87$. Сравнявая расчетное значение F_p с табличным, получили, что $F_p > F_{\text{табл}}$. Это позволяет отбросить нулевую гипотезу H_0 о статистической незначимости уравнения регрессии. Таким образом, полученное уравнение считается статистически значимым.

Рассчитываем показатель тесноты связи. Таким показателем является линейный коэффициент парной корреляции, который рассчитывается по формуле

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (9)$$

где $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$.

Абсолютная величина коэффициента корреляции $r_{xy} = 0,976$. Воспользовавшись шкалой Чеддока, определили, что количественная оценка тесноты связи между переменными весьма высокая. Однако с учетом того, что коэффициент корреляции был вычислен на основе выборочных данных, необходима его проверка на значимость.

Значимость линейного коэффициента корреляции устанавливалась на основе t-критерия Стьюдента, согласно которому была выдвинута нулевая гипотеза об отсутствии связи между факторным и результативным признаками ($H_0 : r_{xy} = 0$).

Для проверки нулевой гипотезы была рассчитана t-статистика по формуле

$$t_p = \frac{|r_{xy}| \cdot \sqrt{k}}{\sqrt{1 - r_{xy}^2}} = 85,76,$$

где k – число степеней свободы.

Определив табличное значение $t_{\text{табл}} = 1,96$ с заданным уровнем значимости $\alpha = 0,05$, получили, что $t_p > t_{\text{табл}}$. Гипотеза H_0 отвергнута. Это свидетельствует о значимости линейного коэффициента корреляции r_{xy} и существенности статистической зависимости между факторным и результативным признаками.

Таким образом, величина коэффициента корреляции подтверждает сильную линейную зависимость между температурой воздуха и температурой воды в открытом сбросном канале ЗАЭС.

Проведенный корреляционный анализ для выявления зависимости температуры воды в водоеме от других метеорологических факторов сведен в таблице.

Как видно из таблицы, связь температуры воды в канале с атмосферными осадками и давлением фактически отсутствует (коэффициент корреляции $r_{xy} < 0,1$). Отдельного внимания заслуживает скорость ветра. Слабая корреляционная связь указывает на несущественное влияние данного метеопараметра на температурный баланс водоема. Однако скорость ветра оказывает существенное воздействие на формирование течений [8]. Этот параметр требует дальнейшего изучения и анализа с применением других методов.

Т а б л и ц а

Корреляционный анализ влияния метеопараметров на температуру воды в открытом сбросном канале

№ п/п	Метеорологические параметры	Значение коэффициента корреляции r_{xy}	Количественная оценка r_{xy}
1	Количество атмосферных осадков	0,0849	Отсутствует
2	Атмосферное давление	0,0019	Отсутствует
3	Скорость ветра	0,2037	Очень слабая

Выводы

1. За счет того, что гидротехнические сооружения представляют собой техно-экосистему, метеорологические условия оказывают непосредственное влияние на отдельные элементы ГТС и к тому же имеют сезонную зависимость.

2. Проведен корреляционный анализ влияния метеорологических факторов на температуру воды в открытом сбросном канале (по среднесуточным данным за отчетный 2012 год). Установлено, что из всех рассмотренных параметров значимым фактором является температура окружающей среды. Также необходимо провести дополнительный анализ влияния скорости ветра на формирование гидротермического режима водоема, используя другой подход. Остальными параметрами можно пренебречь.

Планируется провести анализ влияния температуры окружающей среды на температуру воды в подводящем канале (по среднесуточным данным за год). Это даст возможность построить адекватную математическую модель гидротермического режима пруда-охладителя ЗАЭС, с помощью которой можно осуществлять прогноз и выбирать оптимальный режим работы АЭС.

**АНАЛІЗ ВПЛИВУ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
НА ГІДРОТЕРМІЧНИЙ РЕЖИМ СТАВКА-ОХОЛОДЖУВАЧА**

Н.В. Бейнер, П.С. Бейнер, Д.В. Моїсєєв

Проаналізовано вплив кліматичних умов на охолоджувальну здатність гідротехнічних споруд, у тому числі на ставок-охолоджувач. Надані основні результати регресійного і кореляційного аналізу впливу метеопараметрів на температуру водоймища-охолоджувача.

**ANALYSIS of the METEOROLOGICAL PARAMETERS INFLUENCE on the
HYDROTHERMAL CONDITIONS of the ZAPOROZHYYE NPP' COOLING POND**

N. Beyner, P. Beyner, D. Moiseev

The climatic conditions influence on the hydraulic structure cooling ability (including the cooling pond) has been analyzed. The regression and correlation analysis of the meteorological parameters influence on the cooling pond temperature has been resulted.

Список использованных источников

1. Саяпин П.Г. Указания по нормированию показателей работы гидроохладителей в энергетике / П.Г. Саяпин, Э.И. Яковенко. – Волгоград: Южтехэнерго, 1980. – 37 с.

2. СП 90.13330.2012 СНиП II-58-75. Электростанции тепловые. – М., 2012. – 78 с.
3. *Протасов А.А.* Техно-экосистема АЭС. Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки / А.А. Протасов [и др.]. – К.: Ин-т гидробиологии НАН Украины, 2011. – 234 с.
4. Методические указания по определению обеспеченности электрической мощности электростанций циркуляционными системами водоснабжения РД 153-34.1-22.508-2001. – М., 2001. – 28 с.
5. *Чеботарев А.И.* Общая гидрология (воды и суши) / А.И. Чеботарев. – Л.: Гидромстеоиздат, 1975. – 544 с.
6. *Куликов Е.И.* Прикладной статический анализ / Е.И. Куликов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 464 с.
7. *Кремер Н.Ш.* Теория вероятности и математическая статистика / Н.Ш. Кремер. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 573 с.
8. *Никитин А.А.* Теоретические основы обработки геофизической информации / А.А. Никитин, А.В. Петров. – М.: Недра, 2010. – 342 с.

Надійшла до редакції 03.09.2013 р.
Після доопрацювання 11.09.2013 р.

УДК 355.40; 534.16; 623.4

АКУСТИЧЕСКАЯ КОМПОНЕНТА РАЗВЕДКИ НАЗЕМНЫХ ЦЕЛЕЙ. ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

И.Ю. Бирюков, к.т.н., доц.

¹*Академия ВВ МВД Украины, Харьков*

Рассматривается акустическая компонента разведки наземных целей. Предлагаются пути решения проблемы своевременного поиска и обнаружения наземных целей на поле боя для поражения вооружением, установленным на объектах бронетехники.

Введение

В настоящее время ввиду непрерывного возрастания скрытности действий войск одной из проблем является своевременное обнаружение целей на поле боя. Потому поиск в широком смысле слова - это разведка различных объектов в различных средах [1 - 2].

На современном этапе развития бронетехники точность стрельбы, ее интенсивность и могущество боеприпасов в основном удовлетворяют современным требованиям. Основной проблемой полевого боя, в ключе задач поражения целей, является их обнаружение. Имеющимися приборами обнаружения, которыми оснащаются объекты бронетехники, являются оптические и тепловизионные. Однако для современных условий этого уже недостаточно. В этой связи возникает задача расширения номенклатуры средств обнаружения на дальностях более 3 км [3].