

ступеня з підвідними та відвідними пристроями проточної частини / Автореф. дис... док. техн. наук. – Харків: ХДАДТУ, 1995. – 38с. **4.** *Аксенов А. А., Гудзовский А. В.* Программный комплекс FlowVision для решения задач аэродинамики и тепломассопереноса методами численного моделирования // Третий съезд Ассоциации инженеров по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике (АВОК), 22-25 сент. 1993, Москва, Сб. докладов, С. 114-119. **5.** *Бараишков, С.* FlowVision — Современный инженерный инструмент в исследовании газодинамических характеристик компрессоров (часть 1) [Текст] / *Бараишков С., Шмелев В. В.* // САПР и графика. – Москва, 2004, №12. – С. 44–48. **6.** *Потетенко О. В., Дранковский В. Э., Ковалев С. М.* Тенденции продвижения горизонтальных прямооточных и вертикальных радиально-осевых гидроагрегат на высокие напоры с широким диапазоном эксплуатации. // Вестник СумГУ – Сумы, 2010. №3, – С.125-135. **7.** *Кочевский А. Н.* Расчет внутренних течений в каналах с помощью программного продукта FlowVision / А. Н. Кочевский // Вестник Сумского университета. – Сумы, 2004. – 2(61). – С. 25–36. **8.** *Сухоребры П. Н., Барлит В. В., Дранковский В. Э., Рао В. С., Харвани Л. К.* Характеристики пространственного турбулентного потока и потери энергии в элементах проточной части гидроагрегаты РО500.// Пробл. машиностроения. 2004. – т.7, № 3, – С.13-20.

Надійшла до редколегії 15.05.2013

УДК 621.224

Численное исследование пространственного течения в проточной части высоконапорного гидроагрегата / Потетенко О. В., Дранковский В. Э., Вахрушева О. С., Цехмистро Л. М. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 26 (999). – С.198-203 . – Бібліогр.: 8 назв.

Надані результати розрахункового дослідження просторового потоку рідини в проточній частині радіально-діагональної гідротурбіни, виконаного за допомогою програмного комплексу FlowVision.

Ключові слова: гідроагрегат, проточна частина, направляючий апарат, дворядна лопатева система

The results of calculated studies of the 3D flow of the fluid in the flow of hydraulic radial-diagonal, with use of the complex FlowVision.

Keywords: hydropower unit, water passage, guide vane, blade-row system

УДК 621.311.25:556.55

Н. В. БЕЙНЕР, аспірант, СНУЯЭиП, Севастополь;

П. С. БЕЙНЕР, аспірант, СНУЯЭиП, Севастополь

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА В ПРУДЕ – ОХЛАДИТЕЛЕ ЗАПОРОВСКОЙ АЭС

В работе проанализированы гидравлические процессы, возникающие при выпуске подогретой воды в пруд-охладитель ЗАЭС. Представлены результаты расчета температурной стратификации в водоеме.

Ключевые слова: АЭС, водоем-охладитель, гидротермический режим, температурная стратификация.

Введение. Охлаждающая способность гидроохладителей оказывает непосредственное влияние на вакуум в конденсаторах турбин и, следовательно, на уровень эффективности работы энергоблоков АЭС [1]. В связи с ограниченностью запасов пресной воды и для разумного ее использования на крупных АЭС применяют только системы обратного водоснабжения с охлаждением воды в прудах-охладителях, как например, на Запорожской АЭС (ЗАЭС). Водоем-охладитель является регулятором поверхностного стока и обеспечивает обратное

© Н. В. БЕЙНЕР, П. С. БЕЙНЕР, 2013

водоснабжение ЗАЭС при минимальной ежегодной подпитке со сбросного канала ТЭС.

Термический режим водоема значительно изменяется при тепловых воздействиях, источниками которых выступают АЭС, осуществляющие сброс нагретых вод в водоем. При появлении воздействия атомных электростанций водохранилища начинают выступать в качестве водоемов-охладителей.

В этом случае появляется ряд проблем, которые могут быть связаны с распределением тепла в толще водоема, экологическим равновесием сложившихся экосистем, с водозабором. Одна из проблем водозабора связана с тем, что температура воды оказывает влияние на работоспособность, производительность, а также срок службы оборудования и не должна превышать 33°C на входе в блочные насосные станции (БНС).

При выпуске теплой воды на поверхность водохранилища может возникнуть устойчивая разница температур воды в верхних и нижних слоях, и произойти расслоение потоков, имеющих различную плотность. В этом случае возникают верхнее теплое и глубинное холодное течения, которые могут быть разнонаправленными [2].

Постановка задачи. Знание особенностей формирования стратифицированных течений позволяет целенаправленно подойти к их регулированию и в итоге к регулированию температурного, химического и биологического режимов. Для выполнения прогнозирования гидротермических процессов в пруде-охладителе ЗАЭС необходимо составить математическую модель, которая адекватно отражала бы динамические связи между входными и выходными переменными объекта. Для этого необходимо проанализированы гидравлические процессы, возникающие при выпуске подогретой воды в водоем.

Для адекватной оценки термического режима водоема-охладителя следует осуществлять измерение температуры в контрольных точках на разных глубинах. Для получения достоверных данных необходимо использовать современную измерительную технику.

Цель работы: рассчитать параметр температурной стратификации для пруда-охладителя ЗАЭС, а также разработать структурную схему информационно-измерительной системы (ИИС) мониторинга температурного режима водоема с учетом стратифицированных течений.

Формирование температурной стратификации в пруде-охладителе Запорожской АЭС. При выпуске подогретой циркуляционной воды АЭС в водоемы-охладители возникают сложные пространственные течения с образованием

компактных струй и водоворотных областей. Как правило, в нижних слоях водоема-охладителя возникает движение охлажденной воды в сторону водовыпускного сооружения, вблизи которого происходит ее перемешивание с выпускаемой водой. Интенсивность этого перемешивания существенно зависит от гидравлических условий на водовыпуске АЭС [3].

Рассмотрим формирование стратифицированных течений в пруде-охладителе ЗАЭС при выпуске подогретой воды открытым каналом (рис. 1).



Рис. 1 - Сброс подогретой воды в пруд-охладитель ЗАЭС

Подогретая вода из открытого сбросного канала попадает в пруд-охладитель через сопрягающие сооружения, которые предназначены для гашения энергии воды на сливе, возникающей за счет разного уровня воды. Тип конструкции данного сооружения представляет собой трехступенчатый перепад с полигональным водосливом в виде тонкой стенки. [4].

Схема формирования стратифицированных течений при попадании подогретой воды в пруд-охладитель представлена на рис. 2.

Выпуск воды осуществляется с большими скоростями. За счет разного уровня высот в сбросном канале и пруде-охладителе осуществляется падение воды, вследствие чего происходит интенсивное перемешивание сбрасываемой воды с массами воды водоема.

Теплая струя распространяется в верхнем слое и расширяется под небольшим углом. По бокам струи образуются водоворотные области.

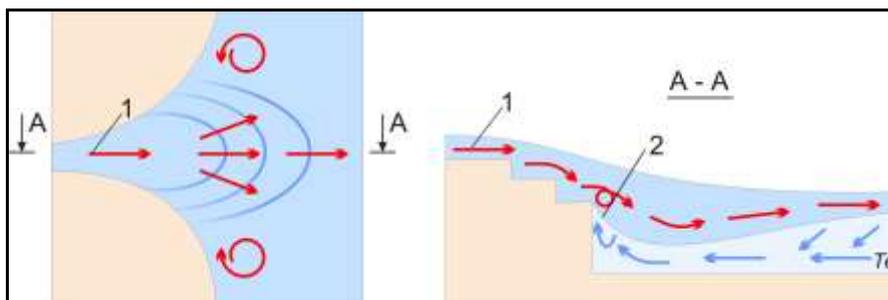


Рис. 2 - Гидравлические процессы при выпуске подогретой воды в пруд-охладитель ЗАЭС 1 – Подогретая вода со сбросного канала; 2 – поверхность раздела

Регулирование стратифицированных течений осуществляется при помощи струераспределительных дамб, которые расположены на дне водоема.

Степень вертикальной температурной стратификации в водоеме-охладителе оценивается параметром стратификации:

$$P = \frac{h_1}{H} = \left(\frac{f_i Q^2 \eta' L}{4 \beta \Delta T g H^4 B^2} \right)^{1/4}, \quad (1)$$

где h_1 – толщина верхнего слоя при штиле; L , B , H – длина, ширина и средняя глубина водоема-охладителя соответственно; f_i – коэффициент трения на поверхности раздела слоев, принимаемый равным 0,01; Q – циркуляционный расход; η' – коэффициент разбавления на водовыпуске; β – коэффициент температурного расширения воды, принимаемый равным $3,02 \cdot 10^{-4} (^\circ\text{C})^{-1}$; ΔT – температурный перепад водоема-охладителя, принимаемый равным температурному перепаду на конденсаторах турбин; g – ускорение свободного падения.

Формирование гидротермического режима в водоеме-охладителе в большей части зависит от процессов, возникающих в ближней зоне у водовыпуска [5]. Охлаждение воды в этой зоне происходит главным образом за счет турбулентного перемешивания сбрасываемой подогретой воды с более холодной водой водоема-охладителя, т.е. имеет место вовлечение дополнительного расхода холодной воды в струю теплой.

В водоем с температурой водой T_e сбрасывается нагретая вода с расходом Q_0 и температурой T_0 . В результате процесса перемешивания присоединяется вода с расходом Q_{np} и температурой T_e . Таким образом, в конце зоны перемешивания образуется поток с расходом $Q_0 + Q_{np}$ и с температурой смешанной воды $T_{см}$, т.е.

$$Q_0 T_0 + Q_{np} T_e = (Q_0 + Q_{np})$$

или

$$\frac{T_0 - T_{cm}}{T_{cm} - T_e} = \frac{Q_{np}}{Q_0}, \quad (2)$$

где $Q_{np} / Q_0 = \eta$ – коэффициент разбавления;

$\frac{T_0 - T_{cm}}{T_{cm} - T_e} = s$ – коэффициент перемешивания.

Физический смысл величины разбавления η заключается в том, что она является массовой характеристикой процесса перемешивания.

Коэффициент разбавления η в формуле (1) определяется следующим образом:

$$\eta = \begin{cases} 1 & \text{при } Fr' < 1; \\ 1,2Fr' - 0,2 & \text{при } Fr' \geq 1, \end{cases} \quad (3)$$

где Fr' – плотностное число Фруда, рассчитываемое по формуле

$$Fr' = \frac{v_0}{\sqrt{g \frac{\Delta p_0 h_0}{\rho_e}}}, \quad (4)$$

где v_0 – средняя скорость воды на водовыпуске;

ρ_0 и ρ_e – плотность воды в сечении водовыпуска и в пруде-охладителе соответственно;

h_0 – глубина водовыпускного канала в месте его сопряжения с водоемом-охладителем.

При выпуске подогретой циркуляционной воды в водоем-охладитель открытым каналом могут установиться два различных гидротермических режима.

Первый режим характеризуется тем, что в канал внедряется охлажденная вода нижнего слоя, приобретая форму клина. Благодаря образованию поверхности раздела между слоями, гасящей турбулентные возмущения, удается существенно уменьшить перемешивание подогретой воды с водой нижнего слоя.

При втором режиме внедрение холодной воды в канал не происходит. Сбрасываемая подогретая вода интенсивно перемешивается с окружающей водой на участке акватории водоема-охладителя у водовыпуска.

Критическое значение плотностного числа Фруда, при котором в канал еще не внедряется холодная вода, равно 0,8. Первый режим возникает при $Fr' < 0,8$, второй – при $Fr' > 0,8$ [3]. Так как на рассматриваемом объекте не происходит внедрение холодной воды в сбросной канал (за счет разного проектного уровня), устанавливается второй гидротермический режим.

При расчете параметра температурной стратификации по формуле (1) для значения циркуляционного расхода была выбрана максимальная пропускная способность сопрягающего сооружения $Q = 110 \text{ м}^3/\text{с}$ при уровне воды 19,2 м по Балтийской системе отсчета [4]. Таким образом, в результате расчета абсолютное значение параметра P составило 0,015 (с учетом двух сопрягающих сооружений), что относит водоем к глубоководному, вертикально стратифицированному.

Структурная схема ИИС. При увеличении температуры воды ее плотность уменьшается. Передача тепла в водную толщу за счет молекулярной диффузии и теплопроводности весьма слаба. Поэтому при прогреве верхних слоев воды возникает температурная стратификация: температура воды на поверхности

оказывается выше, чем в глубинных слоях, и эта разница достигает иногда 10°C и более. При выпуске теплой воды на поверхность водоема может возникнуть устойчивая разница температур воды в верхних и нижних слоях, и произойти расслоение потоков, имеющих различную плотность [6, 7].

Как было выявлено ранее, пруд-охладитель ЗАЭС относится к глубоководному водоему (абсолютное значение параметра температурной стратификации $R = 0,015$; максимальная глубина – 13,5 м). Таким образом, для данного водоема характерна устойчивая температурная стратификация потока в теплое время года. Таким образом, целесообразно осуществлять измерение температуры воды на разных глубинах (рис. 3).

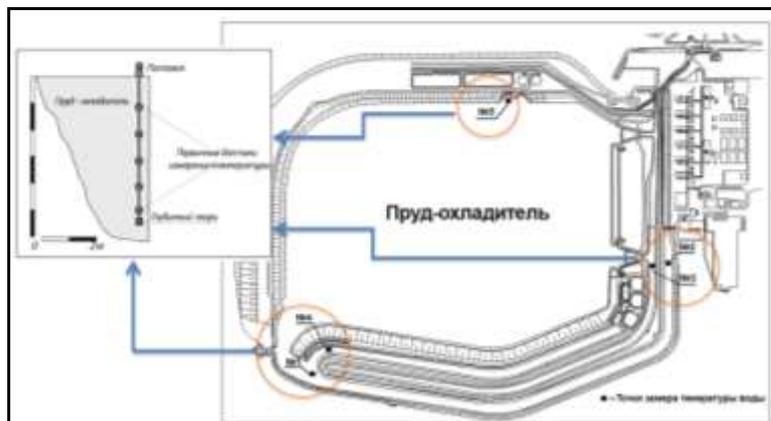


Рис. 3 - Местоположение контрольных точек замера температуры в пруде-охладителе ЗАЭС с учетом стратификации

На данный момент Запорожская АЭС не использует автоматизированной системы для мониторинга термического режима пруда-охладителя. Однако внедрение ИИС позволит решить ряд задач, связанных с автоматическим сбором и обработкой большого количества данных, точно и т.д. [8]. Структурная схема разрабатываемой ИИС показана на рис. 4.

В пяти контрольных точках необходимо установить устройства сбора и измерения информации (датчики температур, преобразующие физические величины в электрические сигналы) на различных глубинах (рис. 3). Устройство обработки информации предназначено для выполнения математической обработки измерительной информации по заданному алгоритму.



Рис. 4 - Структурная схема ИИС мониторинга температурного режима пруда-охладителя с учетом стратификации

Сюда же входит устройство запоминания для хранения данных.

Устройство отображения информации, необходимое для предоставления полученных данных оператору, может состоять из декодирующих, регистрирующих и показывающих устройств. Далее необходимо принять решения и, при необходимости, воздействовать на объект. Устройство управления предназначено для организации взаимодействия всех остальных устройств.

Выводы. Проанализированы гидравлические процессы при выпуске подогретой воды в пруд-охладитель, которые оказывают существенное влияние на гидротермический режим водоема в целом. Произведен расчет параметра

температурной стратификации для пруда-охладителя Запорожской АЭС, в результате чего можно сделать вывод, что рассматриваемый объект представляет собой четко выраженный стратифицированный глубоководный водоем с поверхностным слоем. Знание особенностей формирования стратифицированных течений в пруде-охладителе позволит разработать адекватную математическую модель гидротермических процессов, необходимую для прогнозирования температурного режима водоема.

Приведена структурная схема информационно-измерительной системы, предназначенная для автоматизированного мониторинга температурного режима водоема с учетом стратификации. Задача, решаемая ИИС, позволяет не расчленять параметры объекта измерения с целью выделить и воспринять их по отдельности, а объединить данные обо всех главных параметрах объекта и создать тем самым достаточно полное, совокупное его описание. Таким образом, разрабатываемая ИИС позволит:

–осуществлять одновременное измерение температуры объекта в контрольных точках на разных глубинах;

–своевременно передавать данные на Центральный щит управления для их последующей обработки, хранения и принятия решений.

Список литературы: 1. *Саяпин П.Г.* Указания по нормированию показателей работы гидроохладителей в энергетике / П.Г. Саяпин, Э.И. Яковенко – Волгоград: Южтехэнерго, 1980. – 37 с. 2. *Дрижюс, М.-Р.* Гидротермический режим водохранилищ-охладителей [Текст] / М.-Р. Дрижюс // Вильнюс: Москлас. – 1985. – 166 с. 3. *Соколов А.С.* Методические указания по технологическим расчетам водоемов-охладителей / А.С. Соколов, И.И. Макаров, В.И. Кравец, З.Р. Филипова – «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева». Санкт-Петербург, 2004. – 54 с. 4. *Инструкция* по эксплуатации линейных гидротехнических сооружений 00.гц.вс.из.10-12 – Энергодар: ОП ЗАЭС, 2012. – 22 с. 5. *Макаров И.И.* Моделирование гидротермических процессов водоемов-охладителей ТЭС и АЭС / И.И. Макаров, А.С. Соколов, В.С. Шульман. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 174 с. 6. *Бейнер Н.В.* Разработка структурной схемы ИИС мониторинга температуры воды в водоеме охладителе с учетом температурной стратификации / Н.В. Бейнер, П.С. Бейнер // «Технические науки – основа современной инновационной системы» материалы II Международной науч.-практ. конф., Йошкар-Ола, 25 марта 2013г, – Йошкар-Ола: Коллоквиум, 2013г. С. 70-73. 7. *Бейнер П.С.* Модернизация информационно-измерительной системы мониторинга температурного режима пруда охладителя ЗАЭС с применением вероятностного микроконтроллера / П.С. Бейнер, Н.В. Бейнер // Информационные процессы и технологии «Информатика – 2013»: материалы VI Международной науч. практ. конф. молодых ученых и студентов, Севастополь, 22-26 апреля 2013г. – Севастополь, СевНТУ. С. 172-174. 8. *Цапенко М.Н.* Измерительные информационные системы. Учеб. пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1985.

Надійшла до редколегії 20.05.2013

УДК 621.311.25:556.55

Анализ особенностей формирования гидротермического режима в пруде – охладителе Запорожской АЭС/ Н. В. Бейнер, П. С. Бейнер // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 26 (999). – С.203-208 . – Бібліогр.: 8 назв.

У роботі проаналізовані гідравлічні процеси, які виникають під час випуску підігрітої води у ставок-охолоджувач ЗАЕС. Наведені результати розрахунку температурної стратифікації у водоймищі.

Ключові слова: АЕС, водоймище-охолоджувач, гідротермічний режим, температурна стратифікація.

The hydraulic processes occurring with the discharge of heated water into the ZNPP cooling pond are analyzed. The evaluation results of temperature stratification in the pond are produced.

Keywords: NPP, cooling pond, hydrothermal conditions, temperature stratification.