

5. *Беляев С.Д.* Использование целевых показателей качества воды при планировании водоохраной деятельности // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2007. № 3. С. 3-17.

6. *Беляев С.Д., Могиленских А.К., Одинцева Г.Я.* Целевые показатели качества воды Камского бассейна // Водное хозяйство России. Проблемы. Технологии. Управление. 2009. № 5. С. 35-48.

7. *Лепихин А.П., Мирошниченко С.А.* Особенности задания «фоновой» концентрации в естественных водотоках // Водное хозяйство России. 2002. №3. С. 247-262

8. *Лепихин А.П., Возняк А.А.* Статистические функции распределения гидрохимических показателей качества воды // Водное хозяйство России. 2012. №4. С.21-32.

9. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. Утверждена приказом Министерством природных ресурсов России от 12.12.2007 № 328 (зарегистрирована в Минюсте России от 23.01.2008 № 10974).

### **К ПРОБЛЕМЕ РАСЧЕТА ЗОН ТЕХНОГЕННОГО ТЕПЛОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ (на примере Пермской ГРЭС)**

Лепихин А.П.<sup>1</sup>, Любимова Т.П.<sup>2</sup>, Ляхин Ю.С.<sup>1</sup>,  
Паршакова Я.Н.<sup>2</sup>, Коновалов В.В.<sup>2</sup>, Тиунов А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Горный институт УО РАН, г. Пермь

<sup>2</sup> Институт механики сплошных сред УО РАН, г. Пермь  
lepihin49@mail.ru

**Введение.** В настоящее время водохранилища – наиболее распространенный тип охладителей для крупных тепловых электростанций. При их использовании возникают проблемы, которые индивидуальны для каждого водоема. Для малых охладителей – это ограничение мощности станции, связанное с повышением температуры забираемой воды, для крупных – тепловое загрязнение, изменение ледово-термического режима, гидрофизических и гидробиологических процессов, особенно в районах влияния сбросов подогретых вод.

Значимость рассматриваемой проблемы подтверждается тем, что первые прикладные модели «плоской» гидродинамики для решения данной задачи разрабатывались еще в начале 30-ых годов XX века [1]. Исследование этой проблемы в значительной мере ус-

ложняется фрактальностью морфометрии естественных водных объектов, значительным различием масштабов определяющих естественных и технологических параметров, существенной изменчивостью гидрометеорологических факторов. При этом, как правило, очень мощным лимитирующим фактором является ограниченность мощностей доступных вычислительных средств. Поэтому, начиная с пионерских работ Н.М. Бернадского [1] и до последнего времени, наиболее распространённым подходом к решению этих задач остается подход, основанный на плоских моделях в 2D постановке [2-4].

В то же время, многочисленные материалы полевых наблюдений показали, что представление о «плоскости» рассматриваемых полей, равномерности распределения температуры воды по глубине нуждается в очень существенном уточнении. Поэтому для получения более адекватных результатов требуется переход к 3D модели.

Рассмотрим решение этой задачи на примере одной из самых мощных в Европе электростанций – Пермской ГРЭС.

**Объект моделирования.** Пермская ГРЭС расположена на левом берегу Камского водохранилища в 5 км выше г. Добрянки и в 60 км выше плотины Камской ГЭС. Забор воды осуществляется посредством подводящего канала протяжённостью 2,3 км из Камского водохранилища. Сброс производится через отводящий канал длиной 900 м также в данное водохранилище. Мощность ГРЭС по техническому проекту должна составлять 4800 тыс. кВт (6 энергоблоков по 800 тыс. кВт каждый). В настоящее время введены в эксплуатацию 3 энергоблока (2400 тыс. кВт), имеющие прямоточную систему охлаждения.

По морфометрическим особенностям участок водохранилища в районе водопользования Пермской ГРЭС представляет собой относительно мелководную зону со средними глубинами 4–7 м. Ширина водохранилища около 4,0 км. Старое русло Камы проходит у противоположного берега, где максимальные глубины достигают 23 м.

Решение рассматриваемой задачи для оценки и анализа возможных зон теплового воздействия ГРЭС включало два отдельных, но тесно связанных между собой этапа. На первом этапе была проведена детальная оценка теплового поля, создаваемого в водохранилище сбросом теплых вод ГРЭС, и отработка сценариев выполнения модельных расчетов. Задачей второго этапа являлась верификация используемых моделей и выполнение сценарных расчетов.

Натурное обследование и изыскания проводились на участке Камского водохранилища протяженностью 16 км. Начало участка располагалось в 3 км выше подводящего канала, окончание – в 10 км ниже "устья" отводящего канала. Отдельный блок натурных исследований состоял в измерении температуры воды по акватории и глубине водохранилища при различных метеорологических условиях и режимах работы Пермской ГРЭС. Программа работ предусматривала проведение соответствующих измерений в 16-ти створах в период с 17 по 25 июля 2014 г. Измерение температуры выполнялось с шагом по глубине 1 м с помощью специализированного прибора WTW ProfiLineCond 1970i. После обработки достаточно большого массива данных ежедневных наблюдений было получено распределение температуры по акватории (см. рис 1) и глубине водохранилища в районе водопользования Пермской ГРЭС для конкретных метеоусловий. Наблюдения за метеоэлементами проводились в автоматическом режиме с помощью портативной полевой метеостанции Kestrel 4500.

Для моделирования зон теплового воздействия в зоне влияния Пермской ГРЭС использовалась комбинированная схема, построенная на основе сопряжения моделей в 1D, 2D, 3D постановках. Выбор такой схемы расчетов обусловлен существенной неоднородностью рассматриваемых температурных полей по акватории, и глубине, и крайне ограниченной системой гидрологических наблюдений на водохранилище. Одномерная модель, реализованная с использованием программного продукта HEC RAS, охватывала всю акваторию Камского водохранилища от створа р. Кама (п. Тюлькино) до створа КамГЭС и на основе информации о притоках в Камское водохранилище и режимах работы КамГЭС позволила получить необходимую гидравлическую информацию для модели в 2D постановке. Модель теплового загрязнения в двухмерной постановке реализована с использованием лицензированного пакета SMS v10.1 для участка водохранилища п. Усть-Горевая – КамГЭС. Гидродинамическая модель в 3D постановке построена для участка Камского водохранилища, прилегающего к Пермской ГРЭС, с линейными размерами 10000 м, и реализована с использованием программного продукта ANSYS Fluent.

Выполненный анализ возможных сценарных условий воздействия Пермской ГРЭС на Камское водохранилище выделил следующие

щие два сценария, представляющие наибольший интерес с экологической и технологической точек зрения.

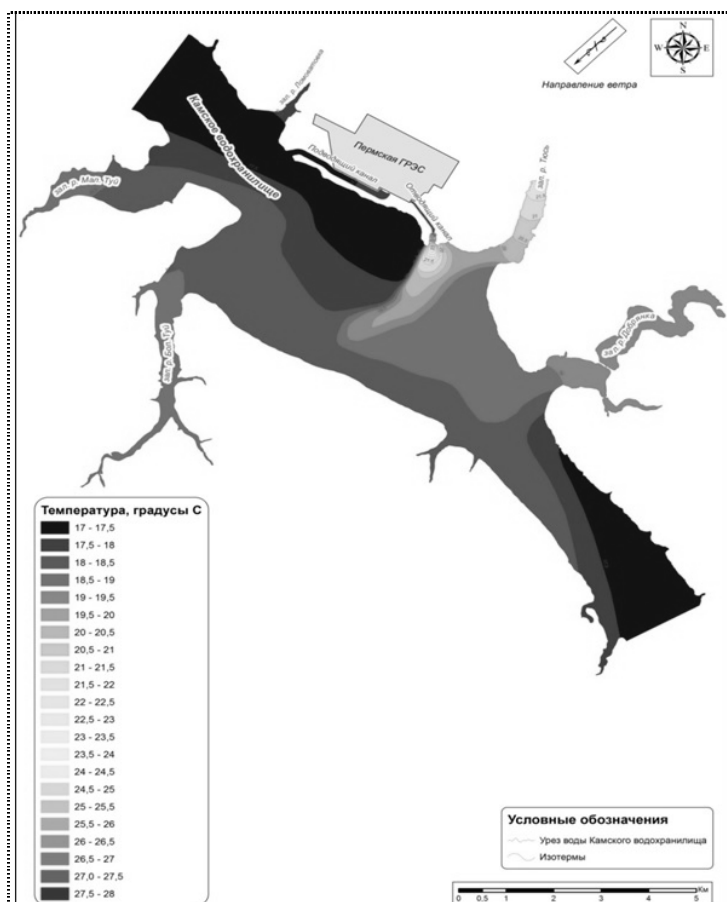


Рис. 1 – Распределение температуры воды по поверхности Камского водохранилища 17 июля 2014 г. (ветер СВ, 4,2 м/сек, работало 2 энергоблока, сброс 40,5 м<sup>3</sup>/сек, t° сбрасываемой воды- 27,8°С

**Первый сценарий.** Максимальная тепловая нагрузка на водохранилище – четыре работающих энергоблока (3 паросиловых плюс 1 парогазовый). Расход сброса – 63,0 м<sup>3</sup>/сек, температура сбрасываемой воды – 32,4 °С, температура забираемой воды – 21,8 °С. Ветер – СЗ, 8 м/сек. Период расчета (воздействие условий) – 3 суток. Цель расчета – определение максимально возможной зоны воздей-

ствия на водохранилище (вниз по течению) при максимальной длине разгона при ветрах северных румбов.

**Второй сценарий.** Технологические характеристики аналогичны первому сценарию, однако ветер имеет противоположное направление – ЮВ, 8 м/сек. Цель расчета – оценка вероятности (периода) поступления сбрасываемых подогретых вод в подводящий канал Пермской ГРЭС.

**Численное моделирование** распространения теплового воздействия в Камском водохранилище в результате сброса термальных стоков Пермской ГРЭС в рамках трехмерного подхода при помощи пакета вычислительной гидродинамики ANSYS Fluent выполнялось с использованием  $k-\varepsilon$  модели для описания турбулентных пульсаций. Задача решалась в рамках нестационарного изотермического подхода [7, 8]. Расчетная сетка строилась с помощью пакета программ Gambit 2.4, входящего в состав ANSYS Fluent, неравномерной в соответствии с полученной в результате натурных измерений в 2014 г. данных о морфометрии дна. Число узлов по глубине расчетной области принималось равным 21.

Для оценки корректности построенной модели был проведен сопоставительный анализ вычислительных и натурных наблюдений, выполненных в июле 2014 г. Результаты анализа показали их очень хорошее согласие, что дало основание использовать данную модель для оценки наиболее критических сценарных ситуаций.

Если с экологических позиций использования воды для целей рекреации неблагоприятные условия представляются при реализации первого сценария, то, исходя из технологических условий обеспечения устойчивости работы ГРЭС, наиболее опасные условия создаются при поступлении сбрасываемых подогретых вод в подводящий канал. Данные условия открываются при реализации второго сценария при значительных ветрах юго-восточной направленности. При значительном ветре в направлении, противоположном направлению течения реки, на протяжении нескольких часов формируется трехмерный вихрь, горизонтальный размер которого равен расстоянию между местами забора и сброса воды, а вертикальный размер равен глубине реки. Наличие этого вихря приводит к движению теплой воды против течения; менее чем через сутки теплая вода достигает места забора воды охладительного канала. Обнаружена значительная неоднородность температуры по глубине, причем градиент температуры является наибольшим вблизи дна водохранилища.

**Выводы.** На конкретном примере одной из крупнейших тепловых энергетических станций – Пермской ГРЭС – рассмотрена технология расчета температурных полей, создаваемых в водных объектах в результате сброса термальных стоков систем охлаждения. Поскольку в водоемах-приемниках наблюдается существенная вертикальная температурная неоднородность, то для достижения достаточной корректности расчеты должны строиться в общем случае с использованием 3D моделей. Однако при выполнении таких расчетов на крупных водных объектах в условиях крайней недостаточности действующей наблюдательной сети встречаются существенные трудности из-за ограниченности доступных вычислительных ресурсов. В связи с этим предлагается и реализуется комбинированная схема расчетов, включающая модели в 1D, 2D и 3D постановках. При этом в постановке 1D модель построена для всего водохранилища, в 2D - для 30 км участка, прилегающего к ГРЭС, а для 10 км участка, включающего в себя подводящий и рабочий каналы ГРЭС, создана модель в 3D постановке.

Данная схема расчетов, как показал сравнительный анализ расчетных и измеренных значений, позволяет эффективно проводить расчеты распределения температурных полей, оценивать их характеристики при наиболее неблагоприятных сценариях, как по экологическим, так и технологическим показателям.

### Литература

1. *Бернадский Н.М., Проскуряков Б.В.* Теория и практика расчетов прудов – холодильников. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1933.
2. *Апухтин А.А., Клеванный К.А., Клеванная М.К., Смирнова Е.В.* Расчет максимальной температуры воды в Белоярском водохранилище // Метеорология и гидрология. 2013. №12. С.85-91.
3. *Вольцингер Н.Е., Пясковский Р.В.* Теория мелкой воды. Океанические задачи и численные методы. Л.: Гидрометеиздат. 1977, 207 с.
4. *Летихин А.П., Садохина Е.Л., Иваненко С.А.* Опыт создания и эксплуатации гидродинамических моделей крупных водохранилищ (на примере Камского и Воткинского водохранилищ) // Сб. Тр. отделения наук об окружающей среде РАЕН, вып. 4. Глобальные природно-антропогенные процессы и экология среды обитания. М.: 1996. С.53-65.
5. *Носков В.М.* Исследование термического режима к оценке

теплового загрязнения в приплотинной части Камского водохранилища // Географический вестник, 2008. №1. С. 117-132.

6. Калинин В.Г., Минакова О.А., Коноплев Л.Л. Особенности термического режима Камского водохранилища в районе влияния сброса подогретых вод Пермской ГРЭС // Географический вестник. 2014. Выпуск 3 (30). С.11-17.

7. Любимова Т.П., Лепихин А.П., Паршакова Я.Н., Тиунов А.А. Численное моделирование разбавления и переноса высокоминерализованных рассолов в турбулентных потоках // Вычислительная механика сплошных сред. 2010. №5. С. 68-79.

8. *Luibimova T., Lepikhin A., Parshakova Y., Kononov V., Tiunov A.* Formation of the density currents in the zone of confluence of two rivers. *Journal of Hydrology* 2014. 508. P. 328–342.

### **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПУТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ПОЙМЫ НИЖНЕГО ДОНА**

Мирзоян А.В., Жукова С.В., Подмарева Т.И., Лутынская Л.А.,  
Фоменко И.Ф. Бурлачко Д.С., Карманов В.Г.,  
Шишкин В.М., Куропаткин А.П.

Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства,  
г. Ростов-на-Дону  
giasfp@aanet.ru

Несмотря на очевидную первостепенность роли поймы (в том числе и водного режима реки) в формировании рыбных запасов Азовоморского бассейна, изученность поймы р. Дон в современный период чрезвычайно низка. В наибольшей степени это связано с тем, что в традиционном понимании «пойма Нижнего Дона» не обозначена в границах Ростовской области, и, соответственно, показатели ее хозяйственного использования и прочие характеристики не подвергаются статистическому мониторингу. Наиболее достоверно установлены и картографически закреплены границы затопления территории в период прохождения весеннего половодья 5%-ой обеспеченности в 1994 г. Именно для территории, оконтуренной границами данного половодья, дается характеристика антропогенных преобразований в пойме Нижнего Дона, и обсуждаются первоочередные меры по ее реконструкции.

Пойма Нижнего Дона, расположенная в центральной части Ростовской области, протянулась узкой (2-20 км) полосой на 240 км от