

УДК 51:556.556

ОТРАБОТКА ВОЗМОЖНЫХ СХЕМ СНИЖЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОАО «ММК» НА МАГНИТОГОРСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ НА ОСНОВЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

© 2014 г. А.П. Лепихин¹, Ю.С. Ляхин¹, А.А. Тиунов²,
О.Ф. Дробный³, И.Е. Вахромеев³

¹ ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, г. Пермь

² Горный институт Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь

³ ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск

Ключевые слова: Магнитогорское водохранилище, гидродинамическое моделирование, схемы движения воды, сценарные расчеты, оптимизация системы водопользования.



А.П. Лепихин



Ю.С. Ляхин



А.А. Тиунов



О.Ф. Дробный



И.Е. Вахромеев

На основе построенной гидродинамической модели просчитаны возможные варианты изменения систем отведения и забора воды с целью уменьшения воздействия ОАО «ММК» на Магнитогорское водохранилище. Показаны достоинства и недостатки использования 2D-моделирования поверхностных водных объектов.

Водное хозяйство России № 5, 2014

Водное хозяйство России

В настоящее время большинство предприятий черной металлургии особое внимание уделяют деятельности по повышению эффективности и снижению издержек производственных процессов, в т. ч. снижению техногенного воздействия на окружающую среду.

В современных условиях перед ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» весьма остро стоит задача по совершенствованию технологических схем охлаждения сточных вод при их отведении в Магнитогорское водохранилище. Определяющим является недопущение повышения температуры забираемой воды до значений, когда начинает существенно снижаться эффективность функционирования (охлаждения) системы водоснабжения комбината. В то же время весьма актуален вопрос уменьшения воздействия на водохранилище посредством снижения сброса и забора воды, недопущения сверхнормативного повышения температуры воды.

Одним из наиболее распространенных подходов к повышению эффективности работы крупных прудов-охладителей является оптимизация размещения струенаправляющих дамб. Отработка эффективных схем размещения этих дамб возможна только на основе многовариантных модельных исследований. Так как физическое моделирование с использованием модельных водоемов в корректной постановке весьма трудоемко, в настоящее время в связи с очень быстрым ростом доступных вычислительных ресурсов все популярнее становятся вычислительные эксперименты с использованием современных программных продуктов.

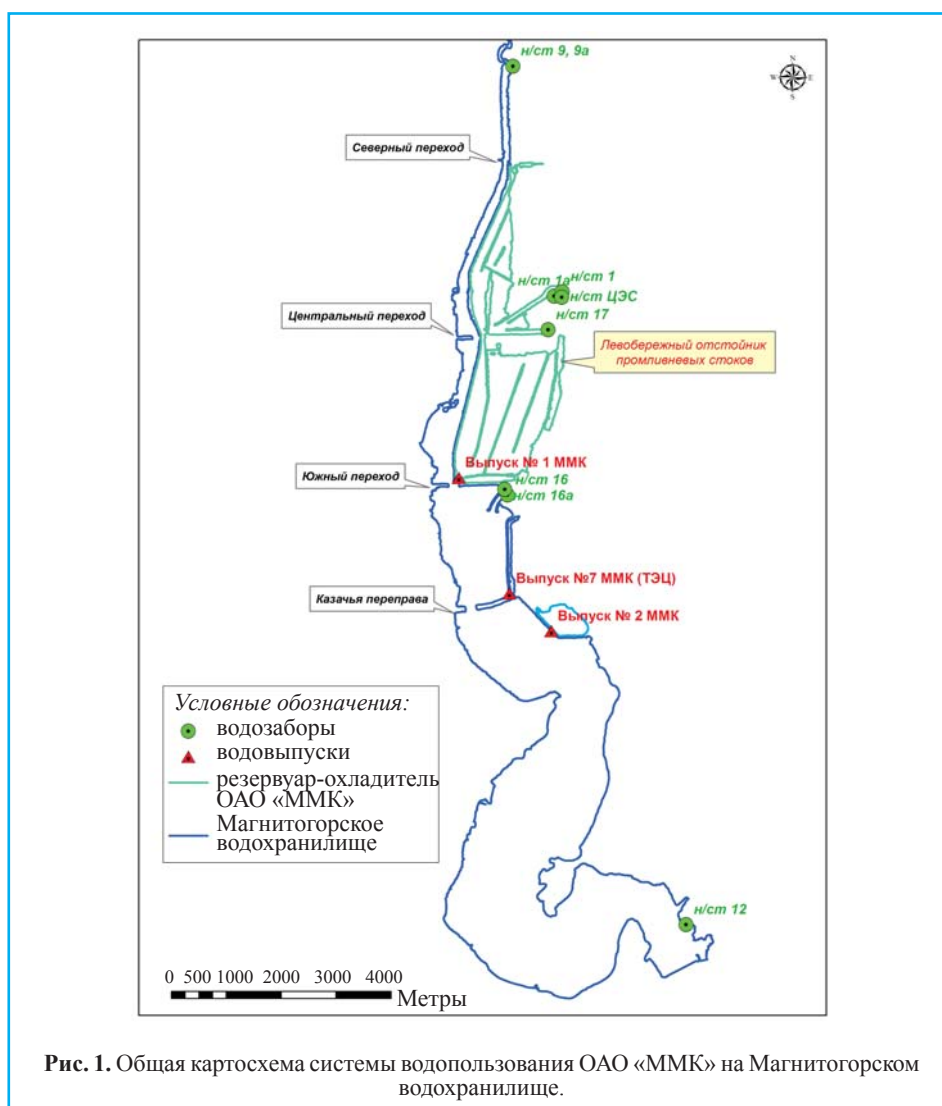
Постановка задачи

Магнитогорское водохранилище на р. Урал введено в эксплуатацию в 1939 г. по проекту института «Водоканалпроект», г. Москва. Водохранилище руслового типа, вид регулирования – суточное. Объем водохранилища при НПУ (149,22 м абс.) составляет 147,6 млн м³, площадь зеркала – 21,1 км², средняя глубина ~7 м.

В 1971–1972 гг. на Магнитогорском водохранилище были построены разделительная и струенаправляющие дамбы, образовавшие оборотную часть Магнитогорского водохранилища (резервуар-охладитель). По уточненным данным площадь зеркала составляет 4,8 км², объем 16,6 млн м³, средняя глубина ~3,5 м.

Производственное водоснабжение основной промышленной площадки ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» осуществляется по оборотной схеме через оборотную часть Магнитогорского водохранилища и локальные оборотные циклы с повторно-последовательным использованием воды.

Большая часть стоков ОАО «ММК» и его структурных подразделений поступает в левобережный отстойник промливнестоков. Далее по оборотной части образованной системой разделительных и струенаправляющих дамб с маслоулавливающими и барботажными установками вода идет в «отсеки» между струенаправляющими дамбами оборотной части, охлаждается, очищается в созданных «природных условиях» и вновь поступает на водозаборные сооружения. Общая длина пути прохождения воды от сброса в отстойники до водозаборных сооружений составляет 15–16 км. Не используемая повторно вода из резервуара-охладителя сбрасывается



в Магнитогорское водохранилище посредством водовыпуска № 1 ОАО «ММК». Помимо этого для отведения сточных вод в Магнитогорское водохранилище комбинатом используется выпуск № 7 (ТЭЦ) и № 2. Забор воды ведется 4 насосными станциями из резервуара-охладителя и 5 станциями – непосредственно из водохранилища. Общая схема представлена на рис. 1.

Для снижения воздействия сбрасываемых вод на Магнитогорское водохранилище прорабатывается вопрос по возможному увеличению оборотной части (резервуар-охладитель) посредством создания ограждающей дамбы между Южным переходом и Казачьей переправой (см. рис. 1).

Кроме этого необходимо было оценить возможный эффект от создания струенаправляющих дамб (рис. 2). В оборотную часть предполагается направить теплые стоки выпусков № 1 и № 7. Следует отметить, что лимитирующим является летний период, когда тепловое воздействие (загрязнение) наиболее ощутимо. Средняя температура воды выпуска № 1 в июле составляет ~32 °С, № 7 ~40 °С.

В целом с помощью вычислительных экспериментов с использованием гидродинамического моделирования анализировали 3 сценария.

1. Современная ситуация. Рассматривали участок между Южным переходом и Казачьей переправой, стационарные условия, ветер южный 4 м/с, температура воды в водохранилище – фактическая измеренная в момент изысканий ~24–26 °С (см. рис. 1).

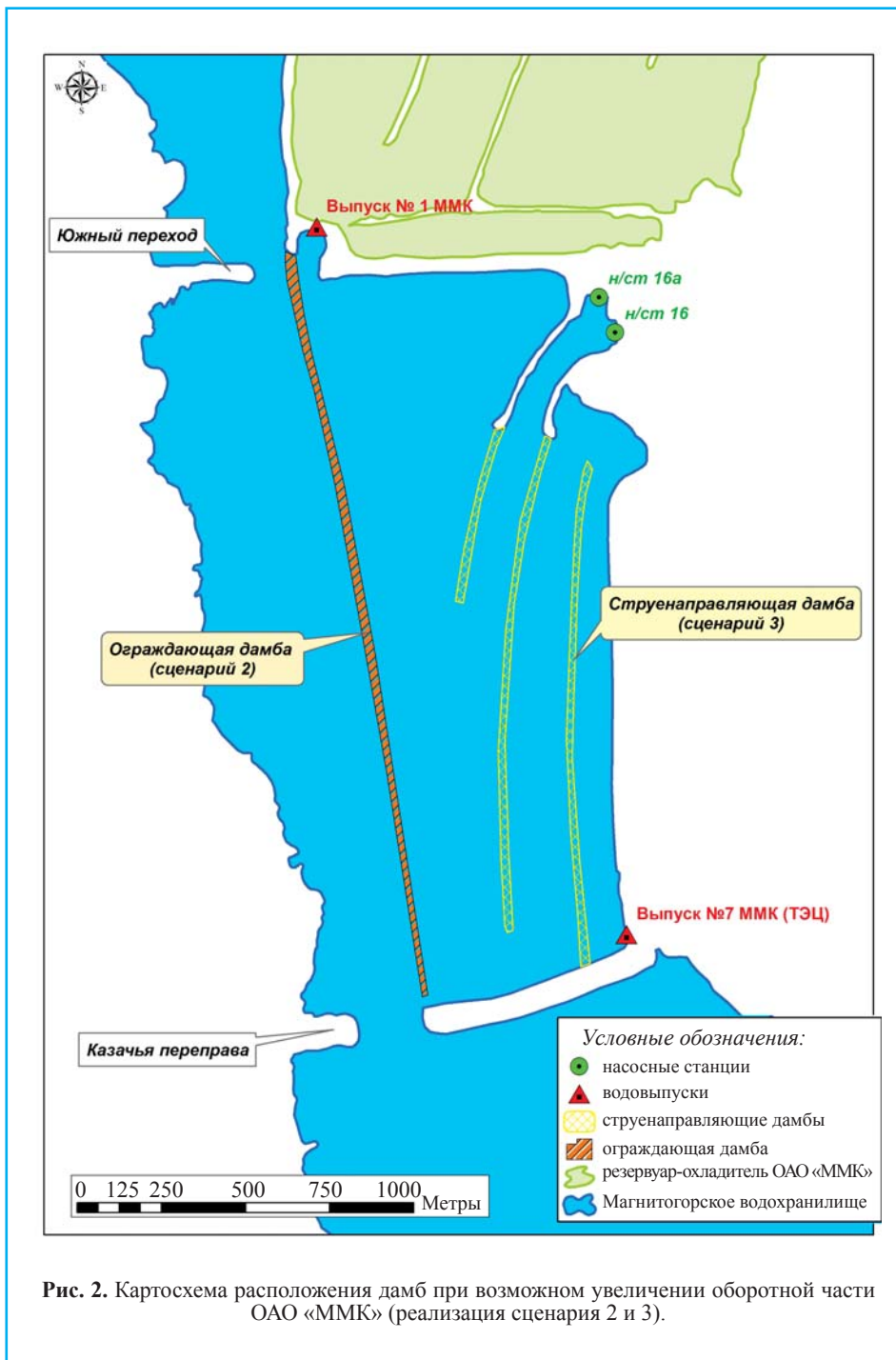
2. Тот же участок и те же гидрологические и метеорологические условия. Увеличиваем оборотную часть с помощью ограждающей дамбы согласно схеме, представленной на рис. 2.

3. Аналогично сценарию 2 располагаем ограждающую дамбу и три струенаправляющие дамбы согласно представленной схеме (см. рис. 2).

Первый сценарий рассчитывали для естественных условий, для дальнейшего сравнения и верификации модели. Второй необходим для оценки изменения температурного поля создания ограждающей дамбы. Третий сценарий призван оценить роль струенаправляющих дамб при охлаждении воды согласно схеме.

Главная задача заключалась в определении температуры воды, забираемой насосными станциями 16 и 16а, с помощью гидродинамического моделирования.

Корректность полученных результатов в значительной мере определяется точностью и детальностью исходной информации вне зависимости от используемого программного продукта. Поэтому на начальной стадии необходимо было выполнить детальную батиметрическую съемку водохранилища и его отдельных частей. Кроме этого на всем участке изучены поля распределения температуры по поверхности и глубине, актуализиро-



ваны технические характеристики водозаборов и водовыпусков, учтены гидрологические и климатические факторы.

По результатам гидрографической съемки, выполненной по требованиям для масштаба 1:10 000, создана цифровая модель рельефа водохранилища. В ходе измерения температуры было назначено 83 вертикали. На каждой вертикали (по глубине) измерения проводили с шагом в 1 м от поверхностного горизонта (0,15–0,2 м). Придонный горизонт 0,2 м от дна. Всего выполнено около 600 измерений. В дальнейшем при построении модели распределение измеренной температуры определяло граничные условия.

В настоящее время гидродинамические модели в 2D-постановке становятся наиболее типичным инструментом решения задач повышения эффективности прудов-охладителей, характерный пример представлен в [1].

На данном этапе, исходя из проведенного сопоставительного анализа, в качестве базовой рабочей модели был выбран специализированный гидрологический пакет SMS v.11.1 компании AQUAVEO LLC, разработанный по заказу и при участии Центра гидравлических исследований США. В его основе лежат несколько модулей (ADH, RMA2, RMA4, FESWMS, TUFLOW и др.), позволяющих решать различные задачи [2].

Данный программный продукт успешно использовался при построении гидродинамических моделей как для водохранилищ (Камское, Воткинское, Учинское, Клязьминское, Исетское), так и отдельных рек (Белая, Вятка [3–5]).

В качестве исходных данных модель включает:

- морфометрию рассматриваемого водного объекта в виде модели;
- уровенный режим в разных частях водохранилища;
- параметры и характеристики поступления стоков в водохранилище (расход стоков в м³/с; температура воды; климатические характеристики территории размещения водохранилища, включающие температуру воздуха, направления и скорости ветра и др.).

В ходе выполнения работы собраны и проанализированы исходные данные, необходимые для успешного функционирования модели SMS v.11.1.

Анализ возможных схем и результаты

Проведенные модельные расчеты для естественных условий показали, что на качество и температуру воды, забираемой насосными станциями 1б и 1ба, существенное влияние оказывают сбросы сточных вод выпусков № 1 и № 7. При южном ветре в 4 м/с воды выпуска № 1 прижимаются к Южному переходу и далее следуют к водозаборному ковшу насосных станций. Часть вод выпуска № 7 подобным образом прижимается к южной части Казачьей переправы и огибает ее, проходя под мостовым

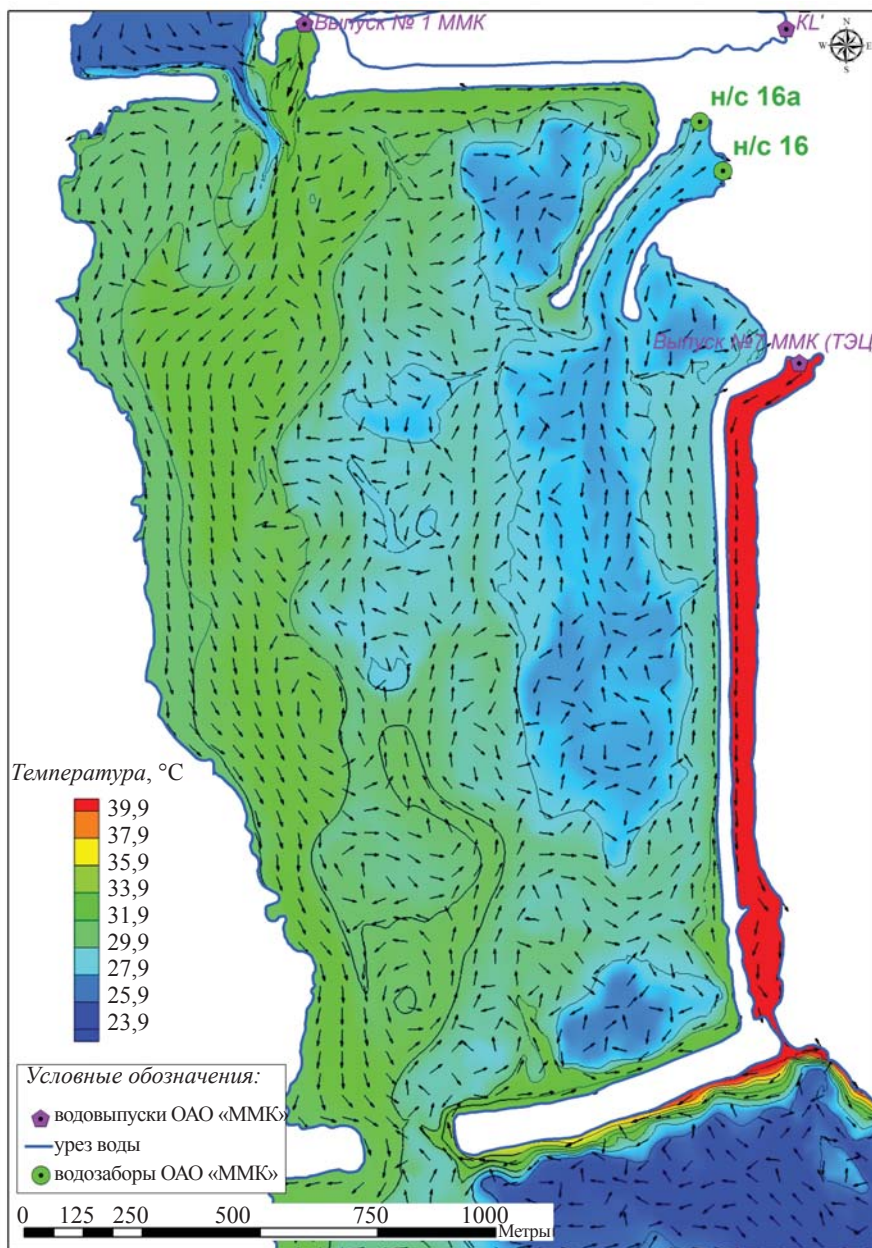


Рис. 3. Общая схема температурного поля между Южным переходом и Казачьей переправой (сценарий № 1).

переходом и следуя вдоль левого берега к ковшу насосных станций 16 и 16а. Средняя скорость движения данных потоков – около 1 см/с (рис. 3). Непосредственно при подходе к водозаборным сооружениям в данных условиях температура воды 26,5–27,2 °С. Данный факт подтверждается и проведенным ранее натурным обследованием, что свидетельствует об адекватности построенной модели и ее применимости.

При увеличении оборотной части с помощью создания ограждающей дамбы (см. рис. 2) схема водопользования меняется принципиально. В результате в оборотную часть добавляется 9,2 млн м³ воды, прирост по площади 1,68 км², объем материала, необходимый для создания ограждающей дамбы длиной ~2,2 км, составляет около 500 тыс. м³. В данных условиях период добегания воды от водовыпусков № 1 и № 7 до насосных станций около 3 сут. При этом в центральной части формируется два достаточно крупных вихря. Скорость движения воды при подходе к насосным станциям 16 и 16а (в ковше) около 2–3 см/с. Скорость течения в «прорези» выпуска № 7 составляет 10–12 см/с. В сложившихся условиях в огороженную часть будет притекать вода из Магнитогорского водохранилища с расходом ~1,5–2,0 м³/с, а сброс непосредственно в водохранилище будет отсутствовать. Однако данного объема свежей воды будет недостаточно, чтобы значительно разбавить теплые стоки выпусков № 1 и № 7, поэтому у насосных станций будет происходить увеличение температуры забираемой воды. Если фактическая температура забираемой воды на момент обследования (сценарий 1) была около 27 °С, то при реализации второго сценария на пятые сутки она составит около 29,8–30,0 °С. Далее будет происходить увеличение температуры с достижением максимума ~33 °С на 11–12 сутки, когда произойдет смена всего объема воды отгороженной части (рис. 4).

По третьему сценарию задача состояла в таком расположении струенаправляющих дамб, чтобы при прохождении теплых вод от выпуска № 7 происходило уменьшение их температуры при дальнейшем заборе насосными станциями. Как показали расчеты, по сравнению со вторым сценарием период добегания воды от выпуска № 7 до насосных станций увеличивается более чем в два раза, до 7–8 сут. За этот период температура сбрасываемой воды понижается на 5–6 градусов до 34–35 °С (зависит от метеоусловий). Далее, смешиваясь с охлаждаемыми в течение 70–75 ч водами выпуска № 1, она поступает к насосным станциям 16 и 16а и имеет температуру ~31 °С. Создание струенаправляющих дамб при сохранении прочих равных условий позволяет уменьшить температуру забираемой воды на 2–3 °С (рис. 5).

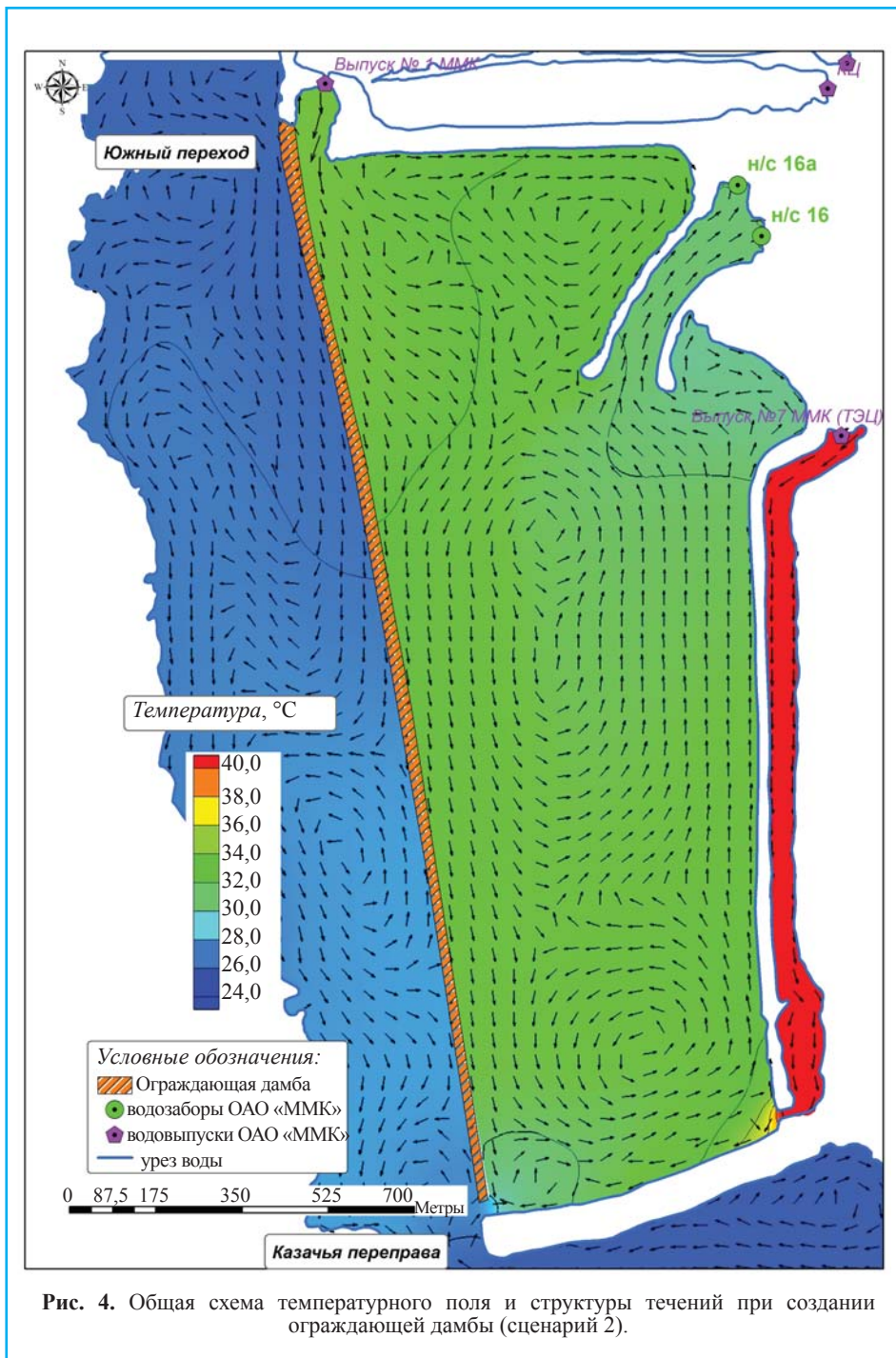
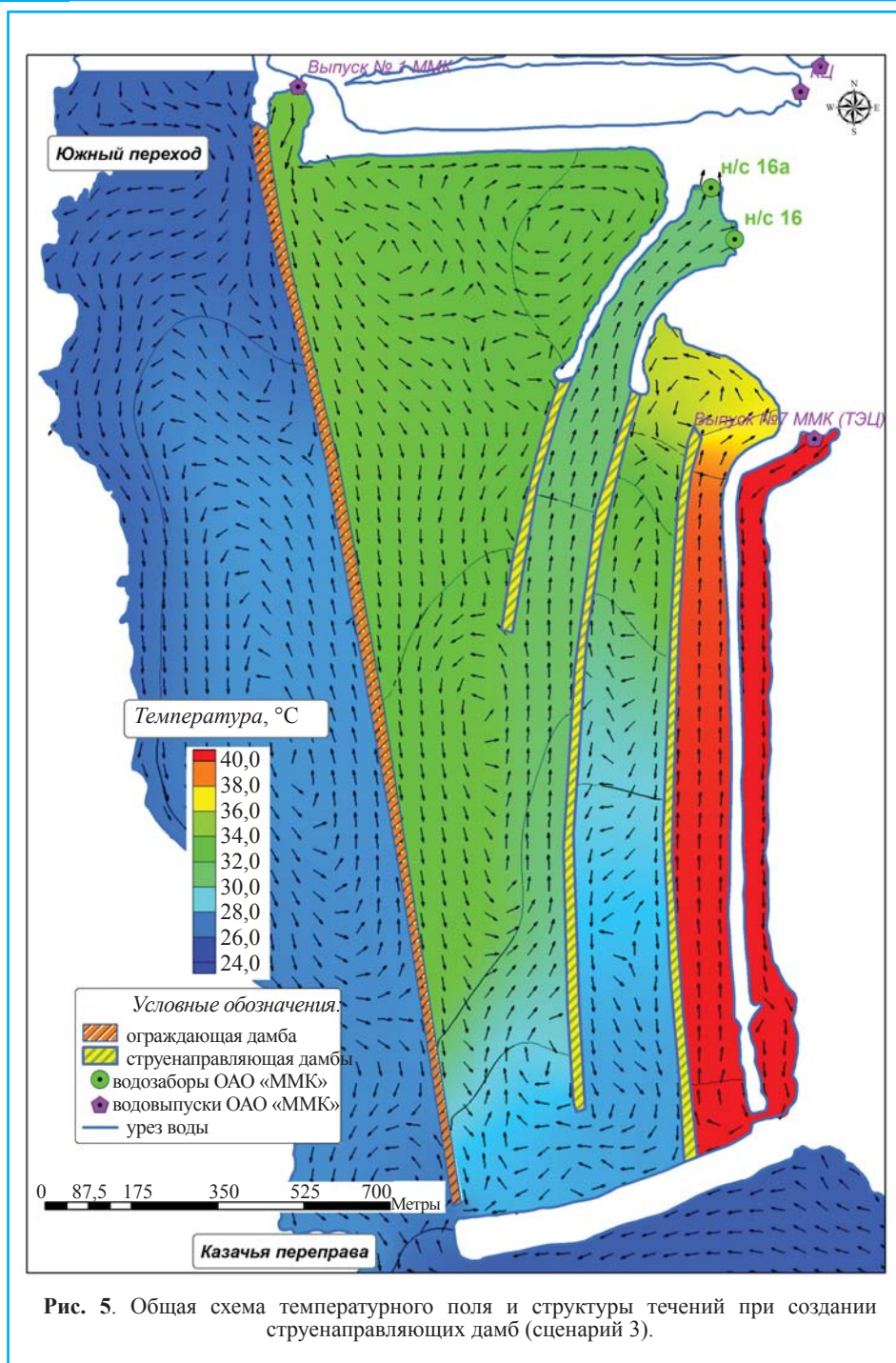


Рис. 4. Общая схема температурного поля и структуры течений при создании ограждающей дамбы (сценарий 2).



Выводы и предложения

Вычислительные эксперименты, даже при использовании гидродинамических моделей в двухмерной постановке, являются весьма эффективным инструментом при отработке схем снижения техногенного воздействия на водохранилище и повышения эффективности охлаждения термальных стоков.

Выбор конкретных схем расположения струенаправляющих дамб должен быть определен только на основе технико-экономического обоснования с учетом возможных альтернативных схем охлаждения термальных вод (градирни). Выполненная работа позволяет более детально подходить к проработке возможных мероприятий.

Использование 2D-моделей в приближении мелкой воды предполагает однородность, постоянство расчетных показателей по глубине водного объекта. В то же время распределение температуры воды непостоянно по глубине, на поверхности в теплый период вода значимо теплее, чем в глубинных горизонтах. Поэтому для обеспечения соответствия объекту исследования необходимо использование модели в 3D-постановке.

Выявленная в ходе выполнения данных исследований существенная вертикальная неоднородность распределения температуры воды, достигающая 14 °С, может служить дополнительным инструментом повышения эффективности системы охлаждения. В частности, предлагается проработать схемы селективного по вертикали забора воды из огороженной части резервуара-охладителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Апухтин А.А., Клеванная М.К., Клеванный К.А., Смирнова Е.В.* Расчет максимальной температуры воды в Белоярском водохранилище // *Метеорология и гидрология*. 2013. № 12. С. 85–91.
2. «Разработка и обоснование схемы движения водных потоков в Магнитогорском водохранилище, исследование уровня загрязнения его марганцем, выявление причин и обоснование с учетом повторно-последовательного использования водных ресурсов и влияния метеорологических и климатических факторов» // *Отчет по НИР / КамНИИВХ, научный рук. А.П. Лепихин, ответственный исполнитель Ю.С. Ляхин*. Пермь. 2013.
3. *Лепихин А.П., Перепелица Д.И., Ляхин Ю.С., Тиунов А.А.* Разработка схемы оптимизации использования Юмагузинского и Нугушского гидроузлов // *Водное хозяйство России*. 2009. № 2. С. 34–48.
4. *Лепихин А.П., Веницианов Е.В., Кирпичникова Н.В.* Разработка гидродинамической модели и модели формирования загрязнений равнинного водохранилища (на примере Клязьминского водохранилища) // *Водное хозяйство России*. 2013. № 2. С. 96–107.
5. *Лепихин А.П., Любимова Т.П., Паршакова Я.Н., Тиунов А.А., Богомолов А.В., Ляхин Ю.С.* Гидродинамическое моделирование реки Вятки в среднем течении: постановка задачи, результаты расчетов // *Водное хозяйство России*. 2013. № 3. С. 16–32.

Сведения об авторах:

Лепихин Анатолий Павлович, д-р геогр. наук, профессор, директор, ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал (КамНИИВХ), 614007, г. Пермь, ул. Народовольческая, 33; e-mail: lepihin49@mail.ru

Ляхин Юрий Сергеевич, ведущий инженер, ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал (КамНИИВХ), 614007, г. Пермь, ул. Народовольческая, 33; e-mail: ljahin85@mail.ru

Тиунов Алексей Александрович, младший научный сотрудник, ФГБУН «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» (ГИ УрО РАН), 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78а; e-mail: alexey.tiunov@gmail.ru

Дробный Олег Федорович, канд. техн. наук, начальник лаборатории охраны окружающей среды, ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск, ул. Кирова, 93; e-mail: drobny@mmk.ru

Вахромеев Иван Евгеньевич, заместитель главного энергетика по водоснабжению и гидротехническим сооружениям, ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск, ул. Кирова, 93; e-mail: vakhromeev.ie@mmk.ru