

На правах рукописи



ШУМКОВА МАРИНА НИКОЛАЕВНА

**ИЗМЕНЕНИЕ УРОВЕННОГО РЕЖИМА РЕК ПОД
ВОЗДЕЙСТВИЕМ
АНТРОПОГЕННЫХ НАГРУЗОК**

05.23.16 – Гидравлика и инженерная гидрология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск
2005

Работа выполнена на кафедре гидротехнических сооружений и гидравлики Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин)

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор **Дегтярев**
Владимир Владимирович (мл.)

*Официальные
оппоненты:* доктор физико-математических
наук, профессор **Воеводин**
Анатолий Федорович

кандидат технических наук **Мороз**
Андрей Анатольевич

Ведущая организация: Институт водных и экологических
проблем СО РАН

Защита состоится *«14» февраля* 2006 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.171.03 в Новосибирском государственном архитектурно-строительном университете (Сибстрин) по адресу: 630008, г.Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, ауд. 239.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин).

Автореферат разослан *«30» декабря* 2005 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета: кандидат технических наук,
доцент



Дзюбенко Л.Ф.

2006 А
478

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность диссертационной работы. Исследования вопросов, связанных с проявлениями различных антропогенных факторов в речных бассейнах, являются весьма актуальными.

Анализ причин нарушения работы природно-техногенных комплексов в маловодные периоды года и решение задач обеспечения безаварийной эксплуатации водохозяйственных систем позволит снизить степень экологической напряженности на водотоках, обусловленную техногенными нагрузками, вызывающими существенные изменения русловых процессов и уровня режима рек, особенно в условиях суточной неравномерности попусков гидроэлектростанций.

Целями диссертационной работы являются:

- комплексные исследования по оценке влияния на русла рек, их гидрологический и русловой режимы активных техногенных факторов, таких как регулирование речного стока, разработка обводненных карьеров нерудных строительных материалов (НМС) и проведение дноуглубительных работ;

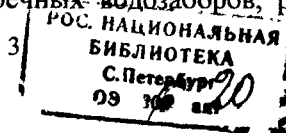
- анализ современных подходов к оценке гидравлических сопротивлений естественных русел и обоснование рекомендаций по применению предложенных зависимостей;

- анализ причин нарушения безаварийной работы водозаборов, расположенных в нижнем бьефе гидроэлектростанций и проведение расчетного обоснования мероприятий по обеспечению необходимых условий для их работы.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- на основе численных экспериментов показана эффективность решения обратной задачи для оценки гидравлических сопротивлений русел рек со сложной морфометрией, что затруднительно выполнить при использовании существующих зависимостей;

- на основе математического моделирования нестационарных гидродинамических процессов доказано, что в условиях суточного регулирования стока может быть нарушено устойчивое функционирование речных водозаборов, распо-



ложенных на участках влияния карьеров нерудных строительных материалов;

Достоверность результатов научных положений, выводов и рекомендаций основывается на использовании фундаментальных законов механики и широко апробированных методов математического моделирования нестационарных гидродинамических процессов в речных руслах и каналах.

Практическая ценность работы заключается в том, что расчет почасового изменения отметок уровней свободной поверхности одновременно у водозаборов и на гидростях позволит составить контрольные графики для прогнозирования временных «провалов» уровней воды непосредственно у водозаборов. Такие графики могут быть использованы при составлении «Правил эксплуатации водных ресурсов водохранилищ...» для предотвращения перебоев в водоснабжении городов в период катастрофического маловодья.

Результаты диссертационной работы использованы при составлении детальной технической записки, касающейся гидрологической, русловой и гидравлической оценки условий работы городских водозаборов НФС-1и НФС-5 на реке Оби с целью обоснования мероприятий по их реконструкции, проектным институтом «Сибгипрокоммунводканал», разрабатывающим ТЭО реконструкции водозаборов НФС-1 и НФС-5 в г. Новосибирске.

Проект, выполненный по теме диссертации, участвовал в конкурсе грантов для аспирантов и молодых ученых НГАСУ (Сибстрин), проводимом совместно с администрацией Новосибирской области и был удостоен диплома первой степени.

Публикации. Основные результаты диссертационных исследований опубликованы в 7 работах: 1 статья в журнале «Известия вузов. Строительство»; 2 статьи в «Трудах НГАСУ»; 2 статьи в журнале «Сибирский научный вестник»; тезисы докладов в материалах научно-практических конференций «Спассиб».

Апробация работы. Содержание диссертации докладывалось на научных конференциях и семинарах профессорско-преподавательского состава Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибст-

рин) (1996 – 2005 гг); на научно-практической конференции «Спасиб» (2003, 2004 г).

Структура работы. Диссертация представлена в объеме 142 страниц машинописного текста, которые включают 100 рисунков, список литературы из 86 наименований, в том числе 12 на английском языке.

Работа выполнена при финансовой поддержке междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН «Анализ и моделирование экстремальных гидрологических явлений в целях разработки мероприятий по предотвращению неблагоприятных последствий и минимизации ущерба на водных объектах Сибири».

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность решения задач обеспечения устойчивого функционирования природно-техногенных комплексов в условиях воздействия антропогенных нагрузок на речные бассейны.

В первой главе (*«Причины нарушения устойчивого функционирования природно-техногенных комплексов в условиях зарегулированности стока»*) выполнен анализ влияния искусственного регулирования стока рек на условия эксплуатации водохозяйственных сооружений.

Исследованию поставленных в диссертации задач посвящены работы В.С. Алтунина, Г.Л.Гладкова, В.В. Дегтярева, Н.Б. Барышникова, К.М.Берковича, Р.С.Чалова, Д.В. Мишуева, В.С.Боровкова, И.А.Шикломанова, И.В.Попова и многих других.

На примере рек Оби и Иртыша проанализированы основные причины изменения гидрологических параметров потока, трансформации русла в нижних бьефах ГЭС и последствия этих процессов.

Анализ переформирования русла реки Оби в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС – единственного крупного регулирующего гидроузла в Западной Сибири, показал, что процесс эрозии русла и береговой абразии продолжается и в настоящее время, правда, в существенно замедленном темпе.

Смещение кривых связи уровней и расходов воды $Q=f(\nabla H)$ подтверждают сказанное выше (рисунок 1).

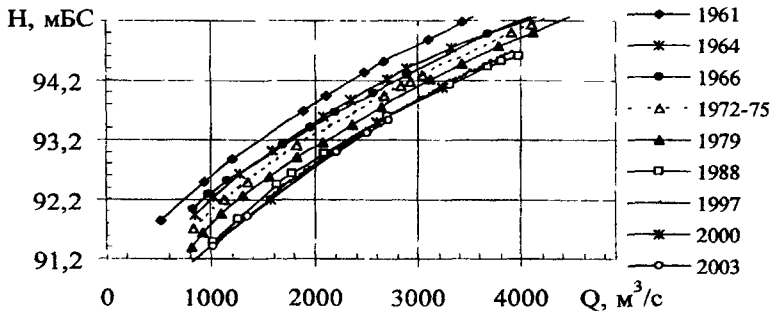


Рисунок 1 - Совмещенные кривые связи расходов и уровней воды по г/п "г. Новосибирск"

Приоритетный режим попусков при суточном регулировании стока определяется в настоящее время, как правило, требованиями безаварийной эксплуатации речных водозаборов в нижнем бьефе ГЭС. На фоне продолжающейся посадки уровней суточная неравномерность расходов воды в нижнем бьефе создает значительные затруднения при эксплуатации водохозяйственных комплексов, особенно в период зимней межени, когда амплитуда колебаний расходов значительно превышает допустимые значения. На рисунке 2 в качестве характерного для р.Оби приведен гидрограф сбросных расходов, при которых максимальная скорость изменения уровней составляет 0,5м/с, при регламентированной 0,2 м/с.

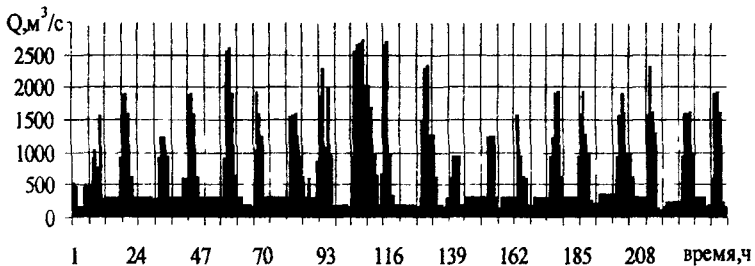


Рисунок 2 - Гидрограф по г/п «Нижний бьеф» (16-25.02.1985г.)

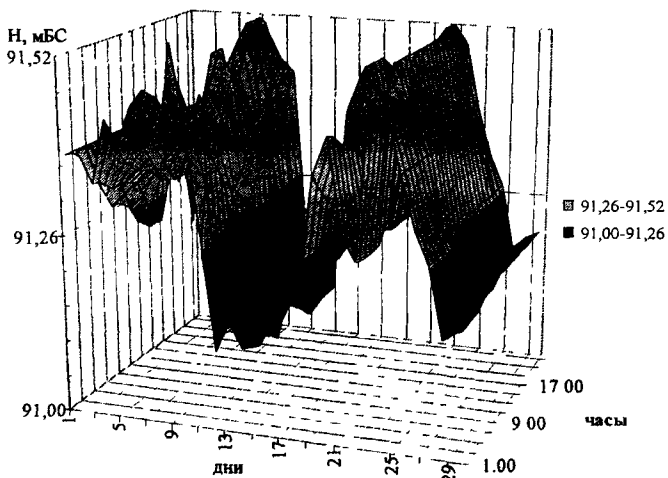


Рисунок 3- Почасовые колебания уровней в створе г/п «г. Новосибирск» за период с 1 по 29 апреля 2004г.

Рисунок 3 наглядно иллюстрирует неравномерность изменения уровней в нижнем бьефе в результате регулирования стока ГЭС в пределах суток и в течение месяца. Темным цветом выделена область, соответствующая уровням, находящимся ниже проектных отметок и не удовлетворяющим нормальной работе водозаборных сооружений.

Во второй главе («Анализ влияния активных техногенных факторов на уровенный режим рек и связанные с этим проблемы») исследуются русловые процессы в зоне разработки русловых карьеров нерудных строительных материалов (НСМ) и дноуглубительных прорезей, влияние которых сказывается как выше, так и ниже по течению.

Одним из наиболее четко выраженных неблагоприятных последствий, обуславливающих экологическую напряженность на реках, вызванных перечисленными антропогенными факторами, является снижение уровней воды.

Так на р.Оби суммарная посадка уровней, обусловленная трансформацией русла, дноуглубительными работами и раз-

работкой русловых карьеров НСМ, составила по данным Верхне – Обского государственного бассейнового водного управления от 1,8 до 2,0 м в створе гидроузла, и от 1,4 до 1,6 м в створе Новосибирского водного поста, расположенного на расстоянии 19,6 км от створа ГЭС (рисунок4) .

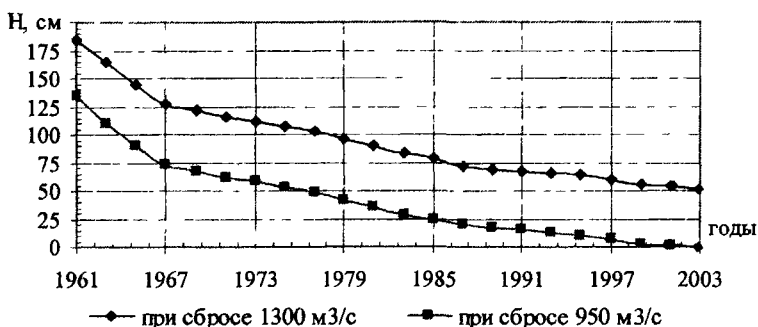


Рисунок 4 - Понижение уровня по г/п «г. Новосибирск»

Аналогичная ситуация сложилась на реках Обь-Иртышского бассейна (Оби, Иртыше, Томи и Соби), а так же на реке Вятке (приток р. Камы), на примере которых был проведен анализ влияния добычи руслового аллювия на водотоки. В рамках диссертации показано, что падение отметок водной поверхности приводит с серьезным нарушениям не только в природных, но и в техногенных комплексах – нарушается устойчивое функционирование водозаборов, судоходных шлюзов и других сооружений.

В третьей главе («*Особенности эксплуатации речных водозаборов в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла*») выявлены причины возникновения нештатных ситуаций на водозаборных сооружениях, расположенных в нижнем бьефе регулирующего водохранилища.

Оценка влияния изменения уровня режима р.Оби на работу водозаборных сооружений г. Новосибирска, расположенных в нижнем бьефе водохранилища, является одной из основных задач настоящей диссертационной работы, в которой рассматриваются особенности работы водозаборов с учетом условий регулирования речного стока в маловодные периоды: летне-осеннюю и зимнюю межени.

Проектом создания ГЭС прогнозировалось понижение уровня в районе г/п «г. Новосибирск» за 1961-2001 гг. не более, чем на 40 см (0,7-1,0 см в год). Согласно этим показателям были запроектированы и построены водозаборы города, однако, как уже отмечалось выше, посадка уровней составила 1,6 м. Таким образом, водозаборные сооружения работают в режиме риска.

При суточном регулировании стока режим попусков определяется требованиями поддержания необходимых уровней у речных водозаборов в нижнем бьефе ГЭС. Однако условия, обеспечивающие безаварийную эксплуатацию водозаборных сооружений, нередко нарушаются.

Реализованные расчеты колебания уровней воды в водоприемных колодцах насосно-фильтровальных станций, подтвержденные данными натурных исследований, показали, что в течение длительного времени уровни воды находились ниже критического, определяемого проектной отметкой (рисунок 5).



Рисунок 5 - График колебания уровней воды в водоприемном колодце насосно-фильтровальной станции (1.02.85 -13.03.85)

Полученные результаты доказывают необходимость выполнения подобного анализа применительно к условиям неустановившегося движения водного потока и к периодической корректировке правил эксплуатации водных ресурсов водохранилищ, что позволит обеспечить устойчивое функ-

ционирование водозаборов и других водохозяйственных объектов.

В четвертой главе («Анализ современных подходов к оценке гидравлических сопротивлений естественных русел») проанализированы современные подходы к оценке гидравлических сопротивлений естественных русел и даны рекомендации по применению зависимостей, разработке которых были посвящены исследования крупных ученых К.В. Гришанина, Н.С. Знаменской, Б.Ф. Снищенко.

Выполненный в рамках диссертационной работы анализ морфометрических характеристик таких рек как Иртыш и Обь (по материалам комплексной эрозионно-русловой экспедиции географического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова) показал, что существующие структурные классификации иерархических комплексов руслового рельефа не позволяют отнести элементы донных образований к одному из выделенных типов из-за разнообразия естественных русел, поскольку в пределах даже небольшого участка водотока, имеет место значительная изменчивость характеристик донных форм (рисунки 6,7).

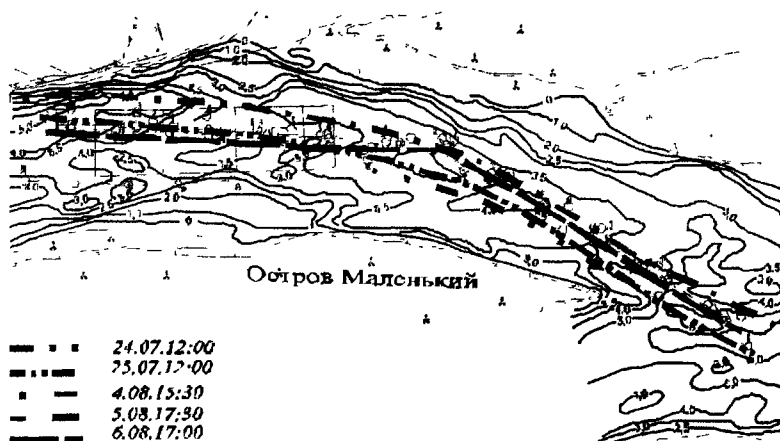


Рисунок 6 - Участок реки Оби (левый рукав Орско-Борского переката) с указанием ходов промеров глубин

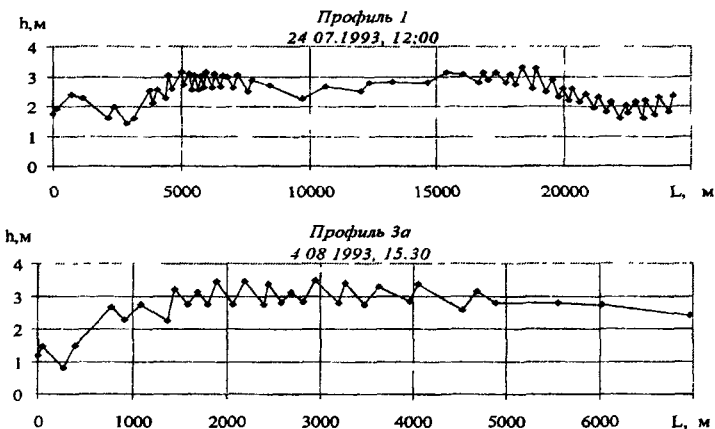


Рисунок 7 - Донный рельеф русла реки Оби (Орско-Борский пережат)

Для оценки гидравлических сопротивлений в естественных деформируемых руслах, где значительная неоднородность гранулометрического состава донного аллювия проявляется как по длине, так и по ширине потока (рисунок 8), предложено более 300 эмпирических зависимостей.

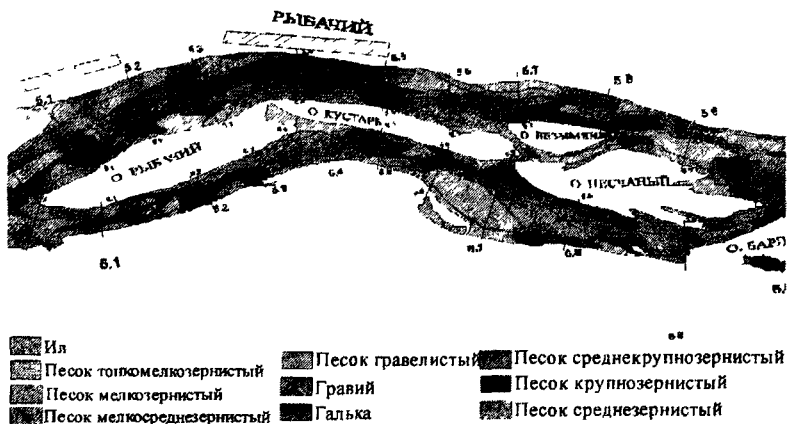


Рисунок 8 - Схема изменения гранулометрического состава донного аллювия на участке реки Оби (Рыбацкий узел)

Объективной оценки их применимости пока не существует. Одним из подходов к оценке гидравлических сопротивлений является решение обратной задачи гидравлики – тестирование формул для гидравлических сопротивлений путем пересчета по ним известных параметров потока и сравнения полученных результатов с натурными данными.

В рамках диссертационной работы были проанализированы формулы для определения коэффициента Шези C Р.Маннинга, А. Штриклера, Дж. Гриффитса, Д.Н. Наботова, Р. Хея, В. Куттера, А.П. Зегжды и др. (выбор зависимостей определялся наличием исходной информации участков). Результаты расчета позволили сделать вывод, что для русел, сложенных мелкозернистыми и мелкосреднезернистыми песками с диаметром наносов 0,2-0,5 мм, можно рекомендовать формулы Р. Маннинга и А. Штриклера

$$C = (1/n)R^{1/6}, \quad (1)$$

$$C/\sqrt{g} = 6,67(R/d_{50})^{1/6}, \quad (2)$$

где R – гидравлический радиус, м;

n – коэффициент шероховатости, с/м^{1/3};

d_{50} – крупность донных наносов 50%-ой обеспеченности,

м.

Для русла, сложенного более крупным материалом – крупнозернистыми и гравелистыми песками и гравием, где средний диаметр наносов составляет 0,84 мм, наиболее близкими к натурным данным оказались значения коэффициента Шези, рассчитанные по формулам Д.Н. Наботова и Р. Хея

$$C/\sqrt{g} = 5,661\lg(h/d_{50}) + 0,77, \quad (3)$$

$$C/\sqrt{g} = 5,751\lg(h/d_{50}) + 0,89, \quad (4)$$

где h – средняя глубина в сечении, м.

Был проведен анализ существующих подходов к оценке гидравлических сопротивлений в руслах покрытых льдом, были исследованы методы учета изменения шероховатости русел при учете растительности.

По результатам проведенного анализа можно отметить, что выбрать универсальную зависимость для естественных потоков весьма затруднительно, поэтому для повышения

достоверности инженерных расчетов можно рекомендовать тестировать зависимости для определения коэффициента Шези для каждого конкретного участка реки с использованием современных численных методов решения задач речной гидравлики.

В пятой главе («Математическая модель для расчета неустановившегося движения водного потока») представлена математическая постановка задачи о неустановившихся гидродинамических процессах в нижнем бьефе ГЭС в условиях суточного регулирования стока.

Для расчета неустановившегося движения водного потока использовалась система одномерных уравнений Сен-Венана, на основе которой в Институте водных и экологических проблем СО РАН было разработано программное обеспечение вычислений. Исходная система уравнений для общего случая имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} &= q; \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Qv) + g\omega \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{Q|Q|}{K^2} \right) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где ω – площадь живого сечения русла, м²; t – время, с; Q – расход воды, м³/с; x – координата вдоль оси русла, м; q – удельный расход путевого притока, м²/с; v – средняя по поперечному сечению скорость течения, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; ξ – отметка уровня свободной поверхности воды, мБС; K – модуль расхода, м³/с; C – коэффициент Шези, м^{0,5}/с.

На границах расчетной области как на входном, так и на выходном створе задавалось по одному граничному условию.

На входном створе задавался расход воды как функция от времени; на выходном – кривая связи между расходами и уровнями воды реки.

$$\left. \begin{aligned} Q &= Q_{in}(t), \\ Q &= Q_{out}(z). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

В расчетах использовалась равномерная разностная сетка, 201 узел которой соответствовал характерным створам реки (рисунок 9).

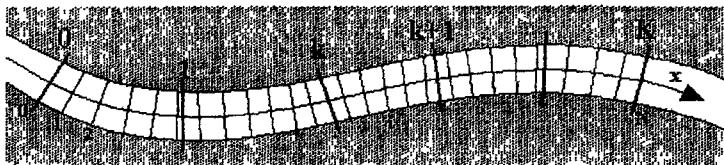


Рисунок 9- Схема построения разностной сетки

Геометрические характеристики русла в узлах разностной сетки определяются путем линейной интерполяции соответствующих характеристик в базисных створах: сначала интерполировалась отметка уровня дна с соответствующим номером, а потом интерполировалась ширина русла на этой отметке (рисунок 10).

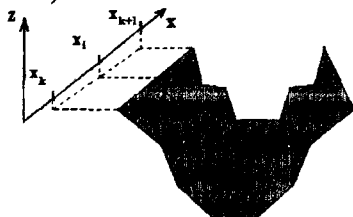


Рисунок 10 - Интерполяция параметров поперечных сечений русла

Для расчетов применялась явная консервативная двухшаговая разностная схема Лакса-Вендрофа второго порядка точности по пространству.

В шестой главе («Анализ результатов математического моделирования и выводы по оценке работы речных водозаборов») в целях анализа суточного регулирования стока р.Оби в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС на условия работы речных водозаборов был выполнен ретроспективный анализ изменения положения кривой свободной поверхности водного потока в условиях неустановившегося движения, ос-

новывающийся на современных средствах математического моделирования.

В качестве характерных рассматривались водные гидрографы за несколько лет, относящиеся по времени к окончанию зимней межени и отличающиеся наибольшей неравномерностью сбросных расходов, а, следовательно, и уровней внутри суток.

В рамках диссертационной работы был выполнен анализ влияния ледотермических условий на надежность работы речных водозаборов, который может быть полезен при обосновании режимов попусков, позволяющих обеспечить нормальную работу водозаборов в нижнем бьефе ГЭС в черте г. Новосибирска в период ледостава и ледовых явлений.

Были выполнены следующие серии численных экспериментов. Для каждого из расчетных периодов рассматривалось три состояния русла: русло, свободное ото льда; кромка полыньи удалена на расстояние 6,5 км от створа ГЭС; кромка полыньи удалена на расстояние 20 км от створа ГЭС. Формулирование краевых условий определялось наличием исходной информации, базирующейся на данных натурных наблюдений.

На основании собранного материала по участку реки Оби в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС была создана геоинформационная система (ГИС), которая позволяет получить исчерпывающую информацию по необходимым для инженерных расчетов характеристикам.

Результаты численных экспериментов показали значительное понижение уровней водной поверхности в условиях регулирования стока как при учете ледотермических явлений, так и без них, что было подтверждено и натурными измерениями в створе расположения одного из водозаборов. Анализ полученных результатов позволил сделать вывод, что основная причина возможных перебоев в работе водозаборов - неравномерность попусков ГЭС в низкую зимнюю межень.

На рисунках 11, 12 приведены примеры результатов численных экспериментов, на которых представлены графики изменения уровней в створах водозаборов и на всем рассматриваемом участке за расчетный период времени.



Рисунок 11- Пример результатов численных экспериментов - изменение уровней в створе водозаборов

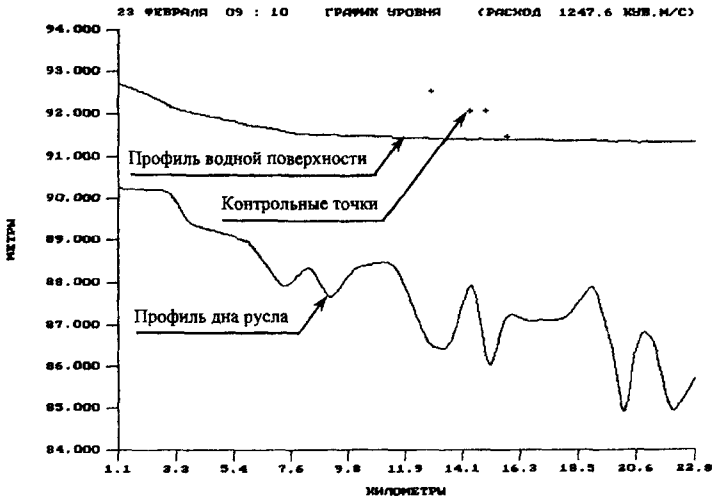


Рисунок 12- Изменение уровней на всем расчетном участке по результатам численных экспериментов.

Режим регулирования стока, величина расходов и соответствующие им характеристики уровня режима стационарного водного потока должны детально обосновываться с точки зрения необходимости обеспечения устойчивого функционирования городских водозаборов, так как в рассматриваемых условиях результаты выполненных расчетов показывают возможность продолжительного понижения отметок по сравнению с теми, при которых обеспечиваются нормальные условия эксплуатации.

В заключении в качестве выводов по диссертационной работе отмечается, что:

1. Выполнен анализ причин возникновения экологической напряженности на ряде рек. Подтверждено, что на свободных реках и на реках с зарегулированным стоком работы по поддержанию судоходных условий и разработка русловых карьеров НСМ определяют разномасштабное, но однонаправленное негативное воздействие на уровень режим рек на фоне кардинального изменения их руслового и гидрологического режимов.

2. Проанализированы современные подходы к оценке гидравлических сопротивлений естественных русел и даны рекомендации по их применению путем решения обратной задачи речной гидравлики.

3. Выявлены причины возникновения нештатных ситуаций на водозаборах, расположенных в нижнем бьефе регулирующих гидроэлектростанций. На примере Новосибирского гидроузла выполнен анализ регулирования водных ресурсов в период неблагоприятных по водности лет, который показал, что амплитуда колебания уровней могут существенно превышать регламентированные среднесуточные значения.

4. Выполнен ретроспективный анализ уровня режима водного потока в условиях неустановившегося движения, основывающийся на современных средствах математического моделирования, что позволило оценить степень влияния суточного регулирования стока на условия работы водозаборов и подтвердило возможность нарушения их устойчивого функционирования в условиях маловодного периода (зимней межени).

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Дегтярев В.В. К вопросу оценки гидравлических сопротивлений естественных русел / В.В. Дегтярев, Т.И. Герус, **М.Н. Шумкова** // Сибирский научный вестник Новосибирского научного центра «Ноосферные знания и технологии» РАЕН. – 1998.- Вып. II.- С.160-166.

2. Дегтярев В.В. Математическое моделирование движения нестационарных водных потоков на разветвленных участках рек при оценке водно-экологической обстановки в речных бассейнах/ В.В. Дегтярев, В.В. Тарасевич, **М.Н. Шумкова** // Сибирский научный вестник Новосибирского научного центра «Ноосферные знания и технологии» РАЕН. – 2000.- Вып. IV.- С.359-368.

3. Яненко А.П. Обоснование мероприятий по обеспечению устойчивого функционирования судоходных шлюзов / А.П.Яненко, В.В.Дегтярев, В.В.Тарасевич, **М.Н. Шумкова**// Труды НГАСУ. – Новосибирск, 1999.- Т2, №2(4).- С.65-74.

4. Дегтярев В.В. Обеспечение устойчивого функционирования водозаборов в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС при суточном регулировании стока в условиях катастрофического маловодья / В.В.Дегтярев, **М.Н. Шумкова**, А.А.Атавин, А.Н.Семчуков// Сибсвязь. Сиббезопасность. Спассиб: Тезисы доклада. – 2003. –С.147

5. Дегтярев В.В. Обеспечение устойчивого функционирования природно-техногенных комплексов в речных бассейнах/В.В.Дегтярев, В.И.Букреев, А.В.Гусев, В.В.Тарасевич, В.Н.Шаталина, **М.Н. Шумкова**, О.Н.Кушнерова// Спассиб. Сиббезопасность: Тезисы доклада. – 2004. – С.137

6. **Шумкова М.Н.** Проблемы эксплуатации речных водозаборов в нижних бьефах гидроузлов в условиях суточного регулирования стока./ **М.Н. Шумкова** // Изв. вузов. Строительство. – 2004.- №12. – С.50-55

7. **Шумкова М.Н.** К вопросу оценки гидравлических сопротивлений естественных русел / **М.Н. Шумкова** // Труды НГАСУ. – Новосибирск, 2005. – Т.8, №3(33). – С.15-21

Новосибирский государственный архитектурно-
строительный университет (Сибстрин)
630008, Новосибирск, ул. Ленинградская, 113

Отпечатано мастерской оперативной полиграфии
НГАСУ (Сибстрин)
Объем 1,2 усл. печ. лист. Тираж 100 экз. Заказ 488

2006A
478

W - - 478