

УДК 502/504:621.65:626.83

Д. С. БЕГЛЯРОВ, С. Ю. ПЕРЕВЕРЗЕВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет природообустройства»

РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗАКРЫТОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Рассматриваются основы расчетного обоснования и безопасной эксплуатации и даются практические рекомендации по защите оборудования и напорных коммуникаций насосных станций от недопустимого повышения давления при переходных процессах. Цель – повысить эффективность функционирования различных водохозяйственных систем.

Насосная станция, насос, подача, переходные процессы, гидравлический удар, гидравлические сопротивления, закрытые оросительные системы, предохранительные сбросные устройства.

There are considered foundations of the design substantiation and safe operation. Practical recommendations are given on inadmissible pressure rise protection of equipment and pressure pipelines of pumping stations under transient processes. The aim is to increase the efficiency of functioning of different water economic systems.

Pumping station, pump, supply, transients, hydraulic impact, hydraulic resistances, closed irrigation systems, safety discharge devices.

Создание современных водохозяйственных систем сопровождается появлением новых технических решений, усложнением конструкций отдельных их элементов и, как следствие, увеличением затрат труда и средств на их проектирование, возведение и последующую эксплуатацию. Отмеченное подтверждается тем, что сходные по назначению гидротехнические сооружения, расположенные в различных регионах, существенно отличаются как размерами затрат на их проектирование и строительство, так и результатами их эффективного использования. Вместе с тем, выдвигаются требования по сокращению сроков строительства данных объектов, а главное – повышению эффективности сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях и систем водоснабжения. Создание современных водохозяйственных систем нуждается в пересмотре традиционных методических подходов к решению ряда задач.

В мелиоративном строительстве все большее распространение получают закрытые оросительные системы (ЗОС), основными элементами которых являются: стационарная или передвижная насосная станция, закрытая оросительная сеть и

дождевальная техника. Опыт эксплуатации современных закрытых оросительных систем показал, что вследствие изменения режимов работы насосных станций и дождевальной техники в трубопроводах (в отдельные периоды) возникают резкие колебания давления (гидравлические удары), которые приводят к разрушениям сети, выходу из строя трубопроводной аппаратуры и насосов.

Важнейшим и неперенным условием дальнейшего развития водохозяйственных систем различного назначения, а также повышения надежности работы их напорных трубопроводов следует считать как создание эффективных средств борьбы с гидравлическими ударами, так и правильный подбор последних, а также рациональную их расстановку на водоводах.

Несмотря на накопленный большой опыт строительства и эксплуатации подобных систем пока, еще нет достаточно общих методов расчета переходных процессов, обеспечивающих повышение надежности сооружений и снижение затрат на их эксплуатацию. Сегодня большое внимание уделяется комплексному методу исследований: натурным экспериментам на действующих насосных станциях и

расчетно-теоретическим исследованиям для научного обоснования проектных решений.

Методика расчета переходных процессов, связанных со сбросом воды через предохранительные сбросные устройства (ПСУ), разрабатывалась для случая их установки в тупиковой точке. При этом рассматривались следующие случаи: отбора воды в точке i нет; отбор воды происходит при постоянном гидравлическом сопротивлении запорной арматуры; при отборе воды происходит закрытие запорной арматуры на гидранте дождевальной машины; при отборе воды происходит открытие запорной арматуры на гидранте дождевальной машины.

При частично или полностью открытым ПСУ сбрасываемый через него расход воды определяется по формуле, полученной из условия, что давление в точке установки устройства при сбросе воды затрачивается на гидравлическое сопротивление:

$$Q_{svi,j} = \frac{a}{4g\omega \cdot S_{svi}} + \sqrt{\left(\frac{a}{4g\omega \cdot S_{svi}}\right)^2 + \frac{H_{i,0} - z_i + \varphi_{i(i-1),j} + \psi_{i(i-1),j}}{S_{svi}}}, \quad (1)$$

а значения отраженных волн в точке i при этом следующие:

$$\varphi_{i,j} = \varphi_{i(i-1),j} + \frac{a \cdot Q_{svi,j}}{2g\omega}, \quad (2)$$

$$\varphi_{i,j} = \varphi_{i(i-1),j} + \frac{a \cdot Q_{svi,j}}{2g\omega}, \quad (3)$$

где $Q_{svi,j}$ – сбрасываемый через ПСУ расход воды в точке i в момент времени j ; $H_{i,0}$ – начальное значение напора в точке i ; z_i – отметка установки ПСУ в точке i ; $\varphi_{i(i-1),j}$ и $\psi_{i(i-1),j}$ – волны изменения давления, подошедшие к точке i в момент времени j от соседних точек $i - 1$ и $i + 1$; φ_{ij} и ψ_{ij} – волны изменения давления, возникающие в точке i в момент времени j ; ω – площадь сечения трубопровода; S_{sv} – гидравлическое сопротивление ПСУ.

При открытии ПСУ его гидравлическое сопротивление вычисляли по следующей формуле:

$$S_{sv} = S_{sv0} \left(\frac{K_{b0}}{K_{b0} - K_b} \right)^2, \quad (4)$$

а при закрытии – по формуле

$$S_{sv} = S_{sv0} \left(\frac{K_{bs}}{K_{bs} + K_b} \right)^2, \quad (5)$$

где K_{b0} и K_{bs} – число расчетных интервалов времени, соответствующих открытию и закрытию ПСУ; K_b – значение интервалов до срабатки ПСУ; S_{sv0} – гидравлическое сопротивление, соответствующее полному открытию ПСУ.

Блок-схема программы, реализующей методику учета предохранительных сбросных устройств, установленных на трубопроводах, приведена на рис. 1.

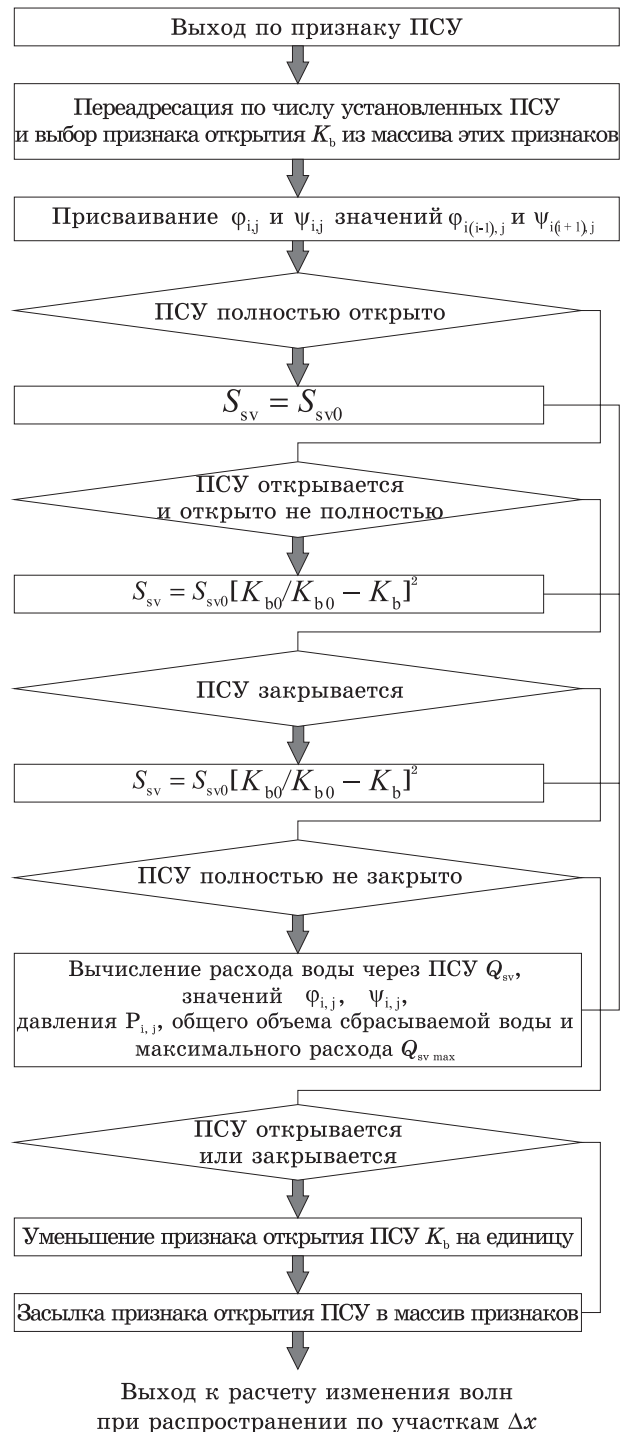


Рис. 1. Блок-схема расчета при установке предохранительного сбросного устройства в промежуточной точке

Закрытая оросительная система в районе города Симферополь, принятая для исследований, предназначена для орошения земель на площади более 1000 га. Общая протяженность трубопроводов

закрытой оросительной сети составляет около 19 км, диаметры которых от 400 до 1200 мм. Сеть выполнена из железобетонных, стальных обычных и стальных тонкостенных труб с внутренним цементно-песчаным покрытием.

На насосной станции установлены четыре основных центробежных насоса 200Д-90 и один вспомогательный консольный насос 4К-8. Для привода основных насосов использовались асинхронные двигатели М 280-4 мощностью 250 кВт с номинальной частотой вращения 1470 мин⁻¹. Полив осуществляли дождевальными машинами «Фрегат», расходы воды которых 80 и 90 л/с. Максимальное число одновременно работающих дождевальных машин равно 9. Расчетная схема включала 72 узла (насосная станция, разветвления, изменения диаметра, тупики, места присоединения дождевальных машин). Расчетная схема показана на рис. 2. При проведении исследований принималось, что предохранительные сбросные устройства расположены у наиболее отдаленных от насосной станции дождевальных машин ДМ-1 и ДМ-2 и что эти машины отключаются. Общее число точек при расчетах переходных процессов было равно 354. Общее число возможного присоединения дождевальной машины «Фрегат» – 14.

дах сети при проведении расчетов – 1000 м/с. Запорной арматурой для отключения дождевальной машины (ДМ) «Фрегат» являются обычные шиберные задвижки с диаметром 200 мм, время отключения и закрытия которых равно 45 с. Поскольку значительное повышение давления при отключении дождевальной машины соответствует режимам полива, при которых число таких машин небольшое, расчеты выполнены при работе одной, двух и трех ДМ (две – с расходом 80 л/с, третья – с расходом 90 л/с).

Продолжительность переходного процесса при расчетах в основном принята равной 50 с. После повышения давления в месте установки ПСУ сверх заданного значения P_{qr} происходит открытие ПСУ за время t_{b0} . При понижении давления ниже P_{qr} ПСУ закрывается за время t_{bs} . Значение t_{bs} должно быть значительно больше значения t_{b0} во избежание повторного повышения давления при закрытии ПСУ. По паспортным данным ПСУ-100 эти значения составляют: $t_{b0} = 0,8$ с; $t_{bs} = 18,0$ с. Следует отметить, что вопрос влияния времени открытия t_{b0} и времени закрытия t_{bs} предохранительных сбросных устройств на переходные процессы в закрытых оросительных системах не изучен. При исследовании влияния t_{b0} его значения варьировались в широких пределах ($t_{b0} = 0,1$ с; 0,6 с; 0,8 с; 1,2 с; 2,4 с; 3,0 с).

Переходные процессы принимались возникающими при одновременном отключении ДМ-1 и ДМ-2 или одной из них при работе трех дождевальных машин (1...3). Для выяснения эффективности работы ПСУ расчеты проводились как при подключенном, так и при отключенном ПСУ от гидрантов дождевальной машины. Для оценки повышения давления ΔP при отключении ДМ (при отключенном или подключенном ПСУ) можно использовать следующую зависимость:

$$\Delta P = \frac{P_{max} - P_w}{P_w} \cdot 100,$$

где P_{max} – максимальное значение давления перед запорной арматурой; P_w – максимальное рабочее давление на входе в дождевальную машину начала до переходного процесса.

Для оценки эффективности работы предохранительного сбросного устройства при отключении дождевальной машины и сбросе воды через него можно использовать

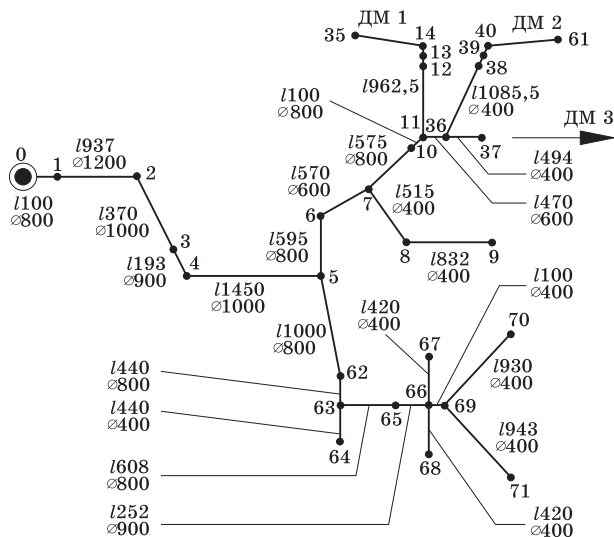


Рис. 2. Расчетная схема закрытой оросительной системы в районе города Симферополя: 12...13: $l13,50$, $\varnothing 400$; 13...14: $l15,43$, $\varnothing 200$; 38...39: $l13,50$, $\varnothing 400$; 12...13: $l15,43$, $\varnothing 200$; длина дана в метрах; диаметры даны в миллиметрах

Значение скорости распространения волн изменения давления в трубопрово-

следующую зависимость:

$$\mathcal{E}_{sv} = \frac{P_{\max} - P_{sv\max}}{P_{\max} - P_w} \cdot 100,$$

где $P_{sv\max}$ – максимальное значение давления перед запорной арматурой при подключенном ПСУ к гидранту дождевальной машины.

Всего был выполнен 21 расчет. На изменение давления при сбросе воды через ПСУ влияет значение давления, на которое ПСУ настроено – P_{qr} . При проведении расчетов значения t_{b0} , t_{bs} и S_{sv0} были приняты равными 0,8 с, 1,8 с, 75000 c^2/m^5

соответственно. Изменение режима работы закрытой оросительной системы было принято таким же, как и при исследовании влияния t_{b0} . При проведении расчетов для ЗОС значения P_{qr} были равными 0,63, 0,65 и 0,67 МПа. Результаты расчетов показали, что варьирование P_{qr} практически не влияло на повышение давления. Это связано с тем, что повышение давления в ЗОС примера 1 при отключениях ПСУ невелико: $\Delta P = 33\%$ (рис. 3).

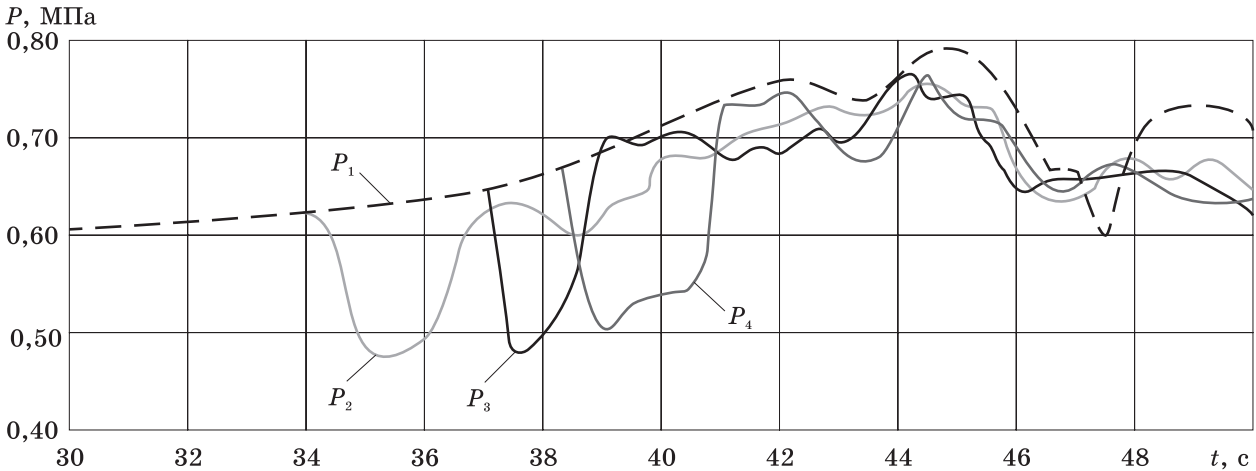


Рис. 3. Изменение давления у дождевальной машины 1 при ее отключении

Предохранительные сбросные устройства используются с различными диаметрами сопел, поэтому исследование влияния гидравлического сопротивления ПСУ является исследованием ПСУ с различными сбрасываемыми расходами при одном и том же значении давления. Значение гидравлического сопротивления предохранительного сбросного устройства при его полном открытии S_{sv0} известно далеко не для всех конструкций. При расчетах в качестве S_{sv0} были приняты значения гидравлического сопротивления ПСУ-100, соответствующие паспортным данным. Всего было выполнено 6 расчетов. Зависимость между расходами, сбрасываемыми через ПСУ, и давлением несколько отличается от квадратичной, поэтому значения гидравлических сопротивлений предохранительных сбросных устройств были определены для давлений, при которых они срабатывают в конкретных условиях. Для рассматриваемой системы давление примерно 0,6 МПа: для этого значения гидравлическое сопротивление при диаметре сопла 34 мм было определено равным 68 000 c^2/m^5 , а для диаметра 40 мм – 38 000 c^2/m^5 .

При проведении расчетов значения t_{b0} , t_{bs} были равны 0,8 и 18,0 с соответственно. Было принято, что ПСУ настроено на сработку при давлении $S_{sv0} = 0,65$ МПа.

Значения параметров ПСУ соответствовали паспортным данным и составили: $S_{sv0} = 75\ 000\ c^2/m^5$; $t_{bs} = 18$; $P_{qr} = 0,65$ МПа.

Результаты расчетов показали, что при отсутствии средств защиты от гидравлического удара (ПСУ отключены от гидроагрегатов дождевальных машин) давление повышалось на 33 % ($\Delta P = 33,0\%$). При подключении ПСУ к гидрантам дождевальной машины и времени запаздывания открытия 0,8 с давление снижалось незначительно ($\Delta P = 25,0\%$). Эффективность работы ПСУ при этом составляла 9 % ($\mathcal{E}_{sv} = 9,0\%$). При изменении значения t_{b0} повышение давления практически оставалось тем же (это связано с тем, что само по себе повышение давления при отключении ПСУ небольшое – см. рис. 3). Это можно объяснить тем, что более резкое снижение давления при малых значениях t_{b0} вызывает затем и более резкое повышение давления.

Предохранительное сбросное устройство по сравнению с $S_{sv0} = 75\ 000\ c^2/m^5$ несколько

снижает давление при переходных процессах, но это уменьшение незначительное.

При установке предохранительных сбросных устройств на гидрантах дождевальных машин возможны две схемы: 1 – ПСУ расположены в тупиковых точках оросительных трубопроводов; 2 – ПСУ расположены в промежуточных точках оросительных трубопроводов. Были выполнены три серии расчетов: первая – при подключении ПСУ к двум гидрантам дождевальных машин; вторая – при подключении ПСУ только к гидранту отключаемой дождевальной машины; третья – при подключении ПСУ только к гидранту соседней дождевальной машины. Всего было сделано 35 различных расчетов для трех примеров закрытых оросительных систем.

При проведении расчетов исходные данные для ПСУ и задвижек были приняты следующими: $t_{b0} = 0,8$ с; $t_{bs} = 18$ с; $S_{sv0} = 75\,000$ с²/м⁵, время закрытия задвижки $t_z = 5$ с. Результаты расчетов первой серии, выполненных для тупиковой схемы расположения ПСУ, показали, что в большинстве случаев отключение дождевальных машин вызывало срабатывание не только собственного ПСУ, но и ПСУ соседней машины. При этом давление у отключаемой дождевальной машины повышалось на 25...70 %, т. е. эффективность работы ПСУ \mathcal{E}_{sv} составляла 9...40 %, а у соседней дождевальной машины $\Delta P = 9...20$ %, т. е. \mathcal{E}_{sv} составляла примерно 50 %.

Следует отметить, что при установке ПСУ на гидрантах двух дождевальных машин, присоединенных к тупиковым узлам ЗОС, их сработки снижают давление не только у отключаемой машины, но и у соседней. Результаты расчетов второй серии показывают, что повышение давления у отключаемой дождевальной машины почти такое же, как при расчетах первой серии (соответственно эффективность работы ПСУ). Однако давление у соседней (незащищенной) дождевальной машины повышается на 13...26 %, что на 4...6 % больше по сравнению со случаем, когда она тоже защищена. Повышение давления на 13...26 % является невысоким. Однако не установить ПСУ на гидранте соседней дождевальной машины нельзя, поскольку ее отключение (другой режим работы ЗОС) приводит к гидравлическим ударам. Вышесказанное доказывает, что установка

предохранительных сбросных устройств на гидрантах дождевальных машин, присоединенных к тупиковым узлам закрытых оросительных устройств, необходима.

Таким образом, исследование взаимного влияния предохранительных сбросных устройств, установленных на закрытых оросительных системах, показало, что установка ПСУ на гидрантах дождевальных машин, присоединенных к тупиковым узлам ЗОС, является обязательной. Установка предохранительных сбросных устройств на гидрантах дождевальных машин в промежуточных узлах необязательна. Однако принимать решение об этом можно только после проведения расчетов с использованием разработанной методики.

Выводы

При централизованной схеме подачи воды, применяемой для большинства закрытых оросительных систем, и большой протяженности оросительных трубопроводов колебания давления в них при переходных процессах, возникающих при отключениях и включениях дождевальных машин, могут быть значительными. Проведенные расчетно-теоретические исследования с использованием усовершенствованной методики на примерах трех закрытых оросительных систем показали возможность определения взаимного действия нескольких предохранительных сбросных устройств, влияние различных параметров таких устройств на протекание переходных процессов и на выбор оптимального варианта этих параметров. Предложен безразмерный параметр \mathcal{E}_{sv} для оценки эффективности действия предохранительных сбросных устройств.

Результаты выполненных исследований показали, что уменьшение давления, при котором срабатывает ПСУ, и сокращение времени его полного открытия не всегда приводят к снижению давления при переходных процессах, вызываемых отключением дождевальной машины при сбросе через предохранительное сбросное устройство.

1. Бегляров Д. С. Повышение надежности и эффективности работы закрытых оросительных систем: монография. – М.: МГУП, 1996. – 140 с.

2. Бегляров Д. С., Вишневикий К. П., Мегдади З. Исследование предохранитель-

ных сбросных устройств для защиты закрытых оросительных система от гидравлического удара // Мелиорация и водное хозяйство. – 1995. – № 1. – С. 55–57.

Материал поступил в редакцию 14.04.11.

Бегляров Давид Суренович, доктор

технических наук, профессор кафедры «Насосы и насосные станции»

Тел. 8 (499) 976-11-85,8 (495) 976-11-85

Переверзев Сергей Юрьевич, аспирант

Тел. 8-916-775-16-36

E-mail: persei87@gmail.com

УДК 502/504:556.18

Л. Д. РАТКОВИЧ, Ю. А. РОМАНОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

СХЕМА ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО АНАЛИЗА ВЕРХНЕГО И СРЕДНЕГО ИРТЫША

Река Иртыш характеризуется сложной водохозяйственной обстановкой. Сделана попытка объективной оценки изменения водного режима китайской части Иртыша (Черный Иртыш) вследствие планируемых мероприятий по использованию водных ресурсов, в том числе изъятию воды Иртыша для переброски в осваиваемые районы. Подобные оценки не проводились со времени разработки схемы комплексного использования водных ресурсов Оби и Иртыша (1981).

Главное внимание уделено описанию водохозяйственного комплекса Черного Иртыша и масштабам роста водозабора в КНР на период до 2030 год.

Естественный сток, гидрологические характеристики, водохозяйственное районирование, регулирование стока, санитарные выпуски, водохозяйственный комплекс, Хельсинкская конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер.

The Irtysh river is characterized by a complicated water economic situation. The authors attempt to objectively assess the change of the water regime of the Chinese part of Irtysh (Black Irtysh) owing to the planned actions on using water resources including withdrawal of the Irtysh water for its transferring to the areas under development. Similar assessments have not been fulfilled since the time of the scheme development of the multiple uses of the Ob and Irtysh water resources (1981).

The focus is on description of the Black Irtysh water economic complex and scales of water intake growth in PRC for a period up to 2030.

Natural flow, hydrological characteristics, water economic division into districts, flow regulation, sanitary discharge, a water economic complex, the Helsinki convention on protection and use of transboundary waterways and international lakes.

Река Иртыш – главный приток Оби, который берет начало из ледников на юго-западных склонах Монгольского Алтая в Китайской Народной Республике. Это единственная река Синьцзян-Уйгурского автономного района, имеющая сток в океан, которая до впадения в озеро Зайсан течет под названием Черный Иртыш, сохраняя черты горной реки. Правый берег Черного Иртыша достаточно крутой и обрывистый, левый – мягко обрамляет песчаные пляжи. Пойма

реки густо засажена тополями и кустарниками, а в непосредственной близости от границы с Республикой Казахстан обширные заболоченные участки [1]. Длина Черного Иртыша до границы с Казахстаном составляет 610 км, площадь бассейна 55 210 км².

Для большинства бассейнов горных рек характерен континентальный климат, отличающийся существенными сезонными колебаниями температуры и недостаточным увлажнением. Бассейн Черного Иртыша не