

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КИТАЙСКОЙ ГИДРОТЕХНИКИ

**Нань Фэн, аспирант, Журавлева А.Г., профессор, кандидат техн. наук
ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ - МСХА ИМЕНИ К.А.ТИМИРЯЗЕВА»,
г. Москва, Россия**

Статья представляет собой сведения о развитии гидротехнического строительства Китая последних десятилетий включая самое последнее время. На примерах показана динамика развития и перспективы гидротехнического строительства для растущей экономики страны. Представлены примеры гидротехнических сооружений Китая и их моделей для научных исследований.

The article presents information on the development of hydraulic engineering construction of China recent decades including the most recent. The examples shows the evolution of development and prospects of dam construction for the country's growing economy. Examples of hydraulic structures of China and their models for scientific research.

Анализ современных мировых тенденций в проектировании и строительстве гидротехнических сооружений свидетельствует об интенсивном строительстве средне- и высоконапорных гидроузлов. Китай имеет самый большой потенциал гидроэнергетики в мире. Более 17% общего объема производства электроэнергии в Китае поставляется гидроэнергетикой. В 1999 году в Китае были введены в эксплуатацию 24 гидроэнергетических генерирующих блоков общей мощностью более 5300 МВт в 1999 году. При этом увеличилась установленная мощность гидроэлектростанций на 8,3% до почти 70000 МВт, на начало 2000 года. В 2007 г. Китай произвел около 430 миллиардов кВт.ч. гидроэлектрической энергии и страна была крупнейшим производителем гидроэнергии в мире в этом же году. По состоянию на 2008 год Китай имел общую установленную мощность 170 ГВт всех крупных и средних гидроэлектростанций. Для удовлетворения растущего спроса со стороны предприятий и частных потребителей Китай планирует увеличивать электрическую мощность на (8 - 9) % в год. В обнародованной энергетической стратегии Китая говорится о потенциале китайских рек генерировать 542 ГВт мощности. Поставлена цель - к 2020-му году увеличить генерацию

электроэнергии в Китае с 1060 ГВт (2011 г.) до 1500 ГВт, одновременно уменьшая потребление угля на ТЭЦ и импорт дорогого природного газа.

В Китайской Народной Республике в 1949-1980 гг. Было построено 16 крупных гидроэлектростанций, некоторые гидроэлектростанции средней крупности (мощностью около 25...250 МВт.), плотины которых имели высоту более 70 м (44 гидроузла) [1].

В 1980-2000 гг. были построены 371 плотина. Плотины высотой более 75 м практически все выполнены бетонными, из 36 таких плотин 30,6% - это гравитационные плотины, 25% - арочные [1]. Количество плотин высотой более 150 м - 9, объемы водохранилищ таких гидроузлов составляют 25...30 млрд. м³, количество плотин высотой более 100 метров - 23. На 19 гидроэлектростанциях, имеющих общую мощность выше 1000 МВт и мощность одного гидроагрегата 200...400 МВт, турбины изготавливались в Китае, а в других случаях были заказаны в других странах. В таких гидроузлах высота плотин в среднем составляла 150...200 м, максимальная высота некоторых плотин была более 200 м, например плотина гидроузла Эр Тань (построена в 1999 г.) имеет высоту 240 м (рисунок 1) [3].

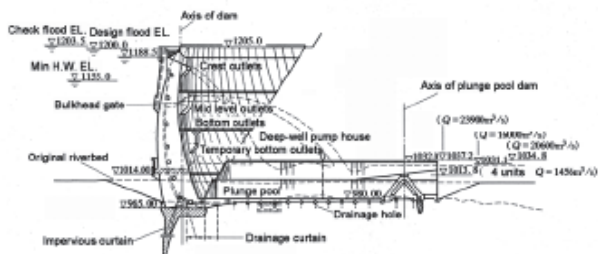


Рис. 1. Фото гидроузла Эр Тань и конструкция арочной бетонной плотины

Плотина Тянь Шэн Чяо (построена в 2000 г.) высотой 178 м - каменно набросная с железобетонным экраном (рисунок 2), плотина Сяо Лан Ди (построена в 2000 г.) высотой 154 м - каменно насыпная с ядром, объем грунта 4900 млн. м³, противофильтрационная цементационная завеса имеет глубину 80 м (рисунок 3) [3]. Контрфорсные плотины в Китае не получили широкого распространения, но в 1996 г. была построена контрфорсная плотина Ху Нань Чжэнь высотой 129 м, выполненная по индивидуальному проекту (рисунок 4) [1].

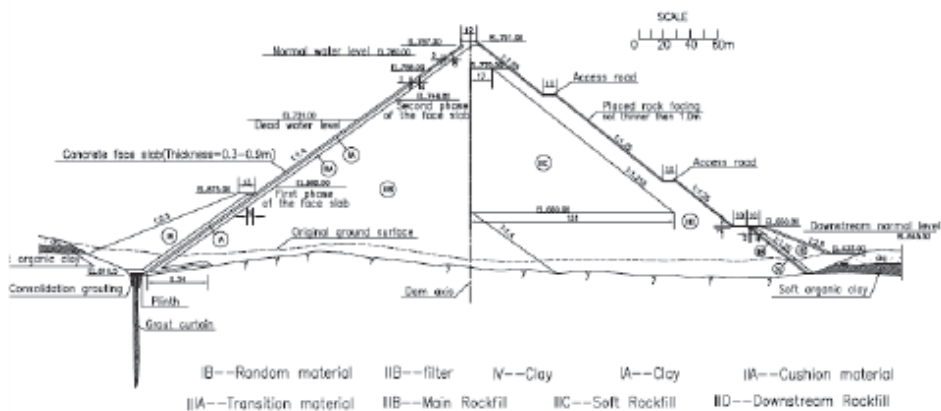


Рис. 2. Фото гидроузла Тянь Шэн Чяо и конструкция грунтовой плотины

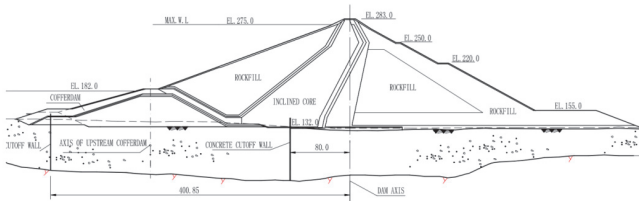


Рис. 3. Фото гидроузла Сяо Лан Ди и конструкция грунтовой плотины

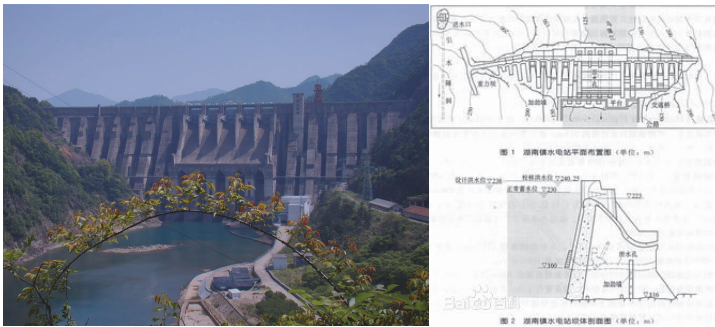


Рис. 4. Фото гидроузла Ху Нань Чжэнь и конструкция контрфорсной бетонной плотины

За последние 15 лет (с 2000 г.) в КНР было построено большое количество бетонных плотин высотой более 200 метров, в том числе Си Ло Ду высотой 273 м, Лун Тань высотой 216,5 м, Сяо Вань высотой 292 м. В процессе завершения строительства находится гидроузел Цзинь Пин (рисунок 5) с арочной плотиной 205 м, которая будет самой высокой в мире.



Рис. 5. Фото гидроузла Цзинь Пин с арочной бетонной плотиной

В основном китайские гидроузлы предназначены для целей энергетики, водоснабжения, ирригации и борьбы с паводками. Практически на всех современных средне- и высоконапорных гидроузлах актуальной является проблема гашения избыточной энергии потока. При этом на высоконапорных водосбросах в пределах проточного тракта возникают такие нежелательные явления как вибрация элементов конструкций под действием гидродинамических нагрузок, кавитационные разрушения, раскрытие деформационных швов, образование трещин и др. Отмечается снижение надежности концевой участка водосброса в результате диссипации значительного количества энергии на водосбросном фронте. Поэтому требуются дорогостоящие мероприятия, направленные на предупреждение и устранение вышеуказанных явлений, в том числе на повышение коэффициента армирования и класса бетона, улучшение качества укладки бетона, повышение прочности последнего. Все это приводит к существенному увеличению сметной стоимости строительства гидротехнических сооружений, но обеспечивает надежность сооружений [1].

Для обоснования проектных решений большое значение имеет научное сопровождение проектов, под которым в гидротехнике понимается проведение исследований и специальных расчетов с целью определения и обоснования размеров и компоновки сооружений, учета особенностей протекания потока и уточнения других факторов, влияющих на принятие проектных решений.

К научному сопровождению необходимо прибегать при проектировании гидроузлов на крупных реках или если сооружения будут эксплуатироваться в сложных климатических, ситуационных и прочих условиях, которые трудно учитывать с помощью известных формул, используемых при проектировании. Результаты исследований позволяют проектировщикам более обоснованно принимать те или иные технические решения.

Научное сопровождение выполняется специализированными организациями, у которых есть лаборатория, измерительная аппаратура, вычислительная техника и кадры, которые имеют соответствующую квалификацию. В Китае имеется несколько научных организаций, которые проводят исследования, один из них - Хэ Хай университет. Основным методом исследований задач при проектировании является моделирование гидравлических и других явлений и перенос полученных данных в натурные условия. Моделирование подразделяют на физическое и математическое.

Физическое моделирование. Физическая модель представляет собой лабораторную установку (гидравлический лоток, русловую площадку, воздушно-напорную установку и др.), на которой могут быть воспроизведены в уменьшенном масштабе исследуемые процессы, протекающие в натуре. На рисунках 6 и 7 представлены физические модели в лаборатории *China Institute of Water Resources and Hydropower Research* (Китайский институт исследований водного хозяйства и гидроэнергетики) [4].



Рис. 6. Исследование регулирования русел за водозабором на модели



Рис. 7. Исследование гидротехнического туннеля на модели

Математическое моделирование. Математической моделью называется математическое описание (с помощью формул дифференциальных и интегральных уравнений и т.п.) изучаемого явления. С развитием вычислительной техники все большее внимание уделяется математическим моделям, на которых реализуются заданные системы уравнений с помощью последовательного выполнения математических операций.

Сравнительный анализ возможностей применения физического и математического моделирования показывает, что каждый из видов моделирования имеет свои достоинства и недостатки. Результаты, полученные на физических моделях, обычно справедливы в относительно небольшом диапазоне изменения физических условий. Основная трудность при проведении физического моделирования связана с удовлетворением критериев подобия и пересчете опытных данных в натуру.

Использование численных методов для расчета прочности сооружений. В последнее время расчеты прочности и устойчивости бетонных плотин выполняются с помощью программных комплексов, использующих метод конечных элементов. К наиболее известным программам, которые разработаны во многих странах мира, относятся COSMOS/M (США), ANSYS (США), Z-Soil (США), MARC (США), ADINA (США), и др. В Китае широкое распространение получил программный комплекс РКРМ (рисунок 8) для проектирования строительных объектов.

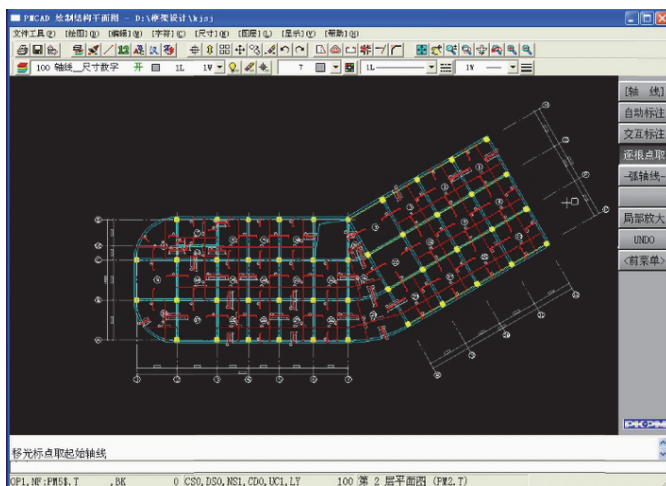


Рис. 8. Проектирование боковой стенки водосброса

На рисунках 9 и 10 представлены результаты моделирования температурных напряжений в бетонной гравитационной плотине Нун Лин (провинция Юй Нань) методом конечных элементов. Расчет выполнялся с помощью программы FZFX3D, разработанной в университете «Три ущелья» (КНР). Область моделирования глухой часть плотины разбивалась на 17873 элементов, расчет проводился для 20958 точек [2].

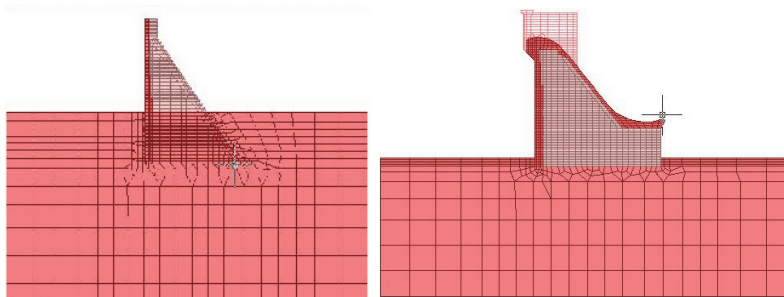


Рис. 9. Разбивка глухой и водосбросной частей плотины Нун Лин на конечные элементы

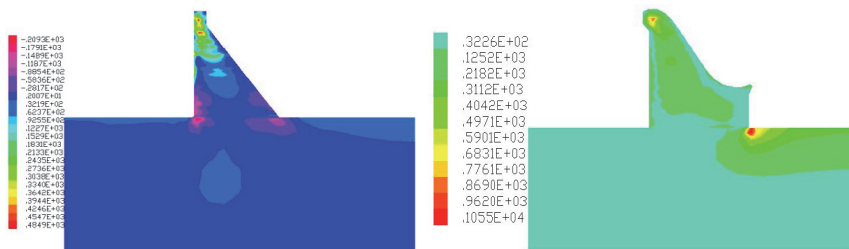


Рис. 10. Результаты расчета температурных напряжений в глухой и водосборной частях плотины Нун Лин

Выводы:

В последние десятилетия в Китае развернулось строительство большого количества гидротехнических сооружений (гидроузлов) в основном для обеспечения электроэнергией растущей экономики страны и для борьбы с наводнениями, которые имеют сокрушительные последствия для населения и окружающей среды, приносят большие убытки. Руководство Китая принимает решение развивать гидроэнергетику как альтернативу строительству АЭС и ТЭЦ. Благодаря широко применяемым методам исследований - физического и математического моделирования Китайская гидротехника добилась высоких результатов, свидетельством которых являются самые уникальные гидротехнические сооружения, как по высоте, так и по мощности гидроэлектростанций.