

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2024, Том 16, № 2 / 2024, Vol. 16, Iss. 2 <https://esj.today/issue-2-2024.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/03SAVN224.pdf>

2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения

2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология

Ссылка для цитирования этой статьи:

Саинов, М. П. Первые бетонные и железобетонные плотины / М. П. Саинов // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/03SAVN224.pdf>

For citation:

Sainov M.P. First concrete and reinforced concrete dams. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(2): 03SAVN224. Available at: <https://esj.today/PDF/03SAVN224.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 69.01

Саинов Михаил Петрович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия
Заведующий кафедрой «Энергетических и гидротехнических сооружений»

Доктор технических наук, доцент

E-mail: SainovMP@mpei.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1139-3164>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=427608

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6506150284>

Первые бетонные и железобетонные плотины

Аннотация. Введение. Понятие «плотина» чаще всего ассоциируется с плотинами из бетона, т. к. именно бетонные плотины чаще других применяются при высоких напорах и потому хорошо известны. Но на самом деле плотины из бетона стали применяться относительно недавно — с конца XIX в. Чтобы разобраться, когда и как возникли плотины из бетона, был составлен исторический обзор первых плотин этого типа.

Материалы. Для составления обзора были использованы источники первой половины XX в., т. к. только в них можно найти описание старых плотин.

Результаты. Первоначально плотины из бетона рассматривались как разновидность плотин из каменной кладки, т. к. бетон — это искусственный каменный материал. Конструкции и основные принципы проектирования были унаследованы первыми бетонными плотинами от каменных плотин. Однако постепенно бетонные плотины выделились в отдельный тип, т. к. применение бетона и железобетона позволило усовершенствовать существовавшие конструкции плотин и разработать новые. Из бетона и железобетона стали строить более тонкие арочные плотины сложной геометрической формы. Были созданы новые типы конструкций контрфорсных плотин: железобетонные многоарочные плотины, плотины с плоскими напорными перекрытиями, бетонные массивно-контрфорсные плотины. Кроме того, были созданы основы теории расчёта проектирования бетонных и железобетонных плотин.

Заключение. Становление бетонных и железобетонных плотин произошло к началу 1920-х годов. К этому времени плотины из бетона превзошли плотины из каменной кладки по высоте и экономической эффективности, а затем заняли их нишу в гидротехническом строительстве.

Ключевые слова: бетонная плотина; железобетонная плотина; плотина из каменной кладки; арочная плотина; контрфорсная плотина; многоарочная плотина; плотина с плоскими напорными перекрытиями; массивно-контрфорсная плотина

Введение

Плотины из бетона на современном этапе гидротехнического строительства являются незаменимым типом плотин. Главными преимуществами плотин этого типа являются их высокая надёжность, компактность, а также возможность устройства водосброса.

Бетонные плотины способны воспринимать высокие нагрузки и являются самым распространённым типом плотин в гидроузлах высокого напора. По статистике в мире насчитывается 197 сверхвысоких плотин, т. е. плотин высотой не менее 150 м. Большинство сверхвысоких плотин (106) — бетонные (железобетонные).

Конструкции бетонных плотин могут быть разнообразными. В соответствии с ГОСТ¹ различают четыре основных типа бетонных (железобетонных) плотин: гравитационные, контрфорсные, арочно-гравитационные и арочные. Приведём определения типов плотин, установленные в ГОСТ.

Гравитационная плотина — это «плотина, устойчивость которой обеспечивается силами сопротивления сдвигу, зависящими, в основном, от веса сооружения и водной пригрузки».

Контрфорсная плотина — «плотина, устойчивость которой обеспечивается силами сопротивления сдвигу вертикальных стен-контрфорсов, воспринимающих через опертую на них напорную грань давление воды».

Различают несколько видов контрфорсных плотин — массивно-контрфорсные, контрфорсные с плоскими напорными перекрытиями, многоарочные.

Многоарочная плотина — «контрфорсная плотина с напорными перекрытиями в виде арок или сводов».

Арочная плотина — «криволинейная в плане бетонная плотина, устойчивость которой обеспечивается, в основном, путем опирания на скальные береговые массивы».

Арочно-гравитационная плотина — «криволинейная в плане бетонная плотина, устойчивость которой обеспечивается как путем опирания на скальные береговые массивы, так и силами сопротивления сдвигу, зависящими от веса сооружения».

По нашим подсчётам из 106 бетонных плотин высотой более 150 м гравитационных — 31, арочно-гравитационных — 18, арочных — 54, контрфорсных — 3.

Бетонные плотины начали применять с конца XIX в. За прошедшее столетие был накоплен большой опыт и сформировалась теория проектирования бетонных плотин. Но прошло достаточно большое время, из-за чего история развития конструкций и теории проектирования бетонных плотин успела подзабыться, некоторые типы конструктивные решения стали восприниматься как догмы.

В связи с этим интересно и важно рассмотреть, как происходило становление бетонных плотин на начальном этапе развития, когда возникли различные виды плотин из бетона. Этому и посвящена данная статья.

Материалы

Для достижения поставленной цели автором был составлен исторический обзор с примерами и фактами.

¹ ГОСТ Р 70214-2022. Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения. — Москва: Российский институт стандартизации, 2022. — 46 с.

Для составления исторического обзора, для получения исторических фактов была использована литература начала XX в. Использовались труды американского инженера E. Wegmann [1; 2], C.W. Smith [3], Morrison C.E. [4], W.G. Bligh [5], Creager W.P. [6] и др. Часть информации была почерпнута в труде Бюро мелиорации США [7], трудах Н.И. Анисимова [8; 9], Н. Chanson [10; 11]. Использовались также открытые источники.

Результаты

Появление бетонных плотин

Статистика свидетельствует, что бетонные плотины стали применяться лишь с конца XIX в. Это объясняется тем, что сам бетон как искусственный каменный строительный материал, изготовленный на основе цемента, стал применяться лишь во второй половине XIX в. Рецепт изготовления портландцемента была запатентована лишь в 1824 г. Железобетон был запатентован в 1867 г.

В Римской империи применяли так называемый римский бетон, в котором в качестве связующего вещества использовалась известь с добавлением пуццолана, пемзы и др. Однако примеров плотин, полностью построенных из римского бетона, известно мало.

До появления бетона все высокие плотины строили из каменной кладки, такие плотины будем называть каменными. Использовалась кладка на известковом растворе, но чаще — сухая кладка, т. е. кладка без раствора. Из каменной кладки также выполнялись водосбросные сооружения.

Анализ показывает, что основные типы конструкции бетонных плотин (гравитационные, арочные, арочно-гравитационные, контрфорсные) были применены ещё до изобретения бетона, в каменных плотинах [12]. Ещё до появления бетонных плотин были заложены ключевые принципы их проектирования. Была предложена теория выбора профиля гравитационной плотины, конструкции плотины стали включать дренаж тела и основания плотины, стали выполнять противофильтрационные завесы в скальном основании [12].

На начальном этапе плотины из бетона не воспринимался как отдельный тип плотин. В начале XX в. в технической литературе плотины из бетона называли каменными, ведь бетон — это искусственный камень. Можно сказать, что сначала бетонные плотины развивались «в тени» каменных плотин, которые а конце XIX в. — начале XX в. находились на стадии расцвета. Именно на рубеже веков максимальная достигнутая высота каменных плотин превысила рекордные 100 м [2; 12].

Первые гравитационные и арочные плотины из бетона

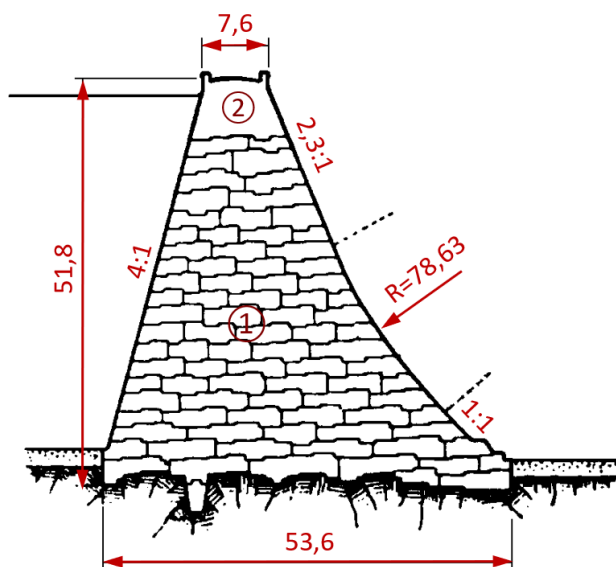
История строительства бетонных плотин началась в конце XIX в. В 1872 г. были построены сразу две плотины с применением бетона на основе цемента.

Одной из этих плотин является плотина Boyds Corner высотой 23,8 м, которая была построена в США в 1872 г. [1; 2]. Толщина плотины понизу составляет 17,4 м [3; 4]. Бетонной была выполнена верхняя часть плотины [4].

В этом же году бетонная плотина была построена и в Швейцарии. Плотина Perolles (ныне Maigrange) имеет высоту 24 м и длину по гребню 195 м. Ось этой плотины искривлена в плане.

В 1873 г. ещё одна бетонная плотина была построена в Австралии. Это плотина Lower Stony Creek (Geelong) высотой 23,8 м и длиной по гребню 198 м [11]. Плотина арочно-гравитационная, толщина плотины поверху составляет 2,62 м, понизу — 16,3 м.

Первой в мире более крупной плотиной из бетона является плотина San Mateo (ныне Lower Crystal Springs). Эта плотина высотой 46,9 м была построена в США в 1888 г. [1; 2]. Ось плотины закруглена, плотина является арочно-гравитационной, её радиус составляет 192,6 м [3]. Ширина плотины по основанию составляет 53,6 м и превышает высоту плотины, т. к. изначально плотина планировалась большей высоты (рис. 1).



1 — построенная часть плотины из бетонной кладки; 2 — непостроенная часть плотины

Рисунок 1. Проектный профиль плотины Lower Crystal Springs (San Mateo) [3]

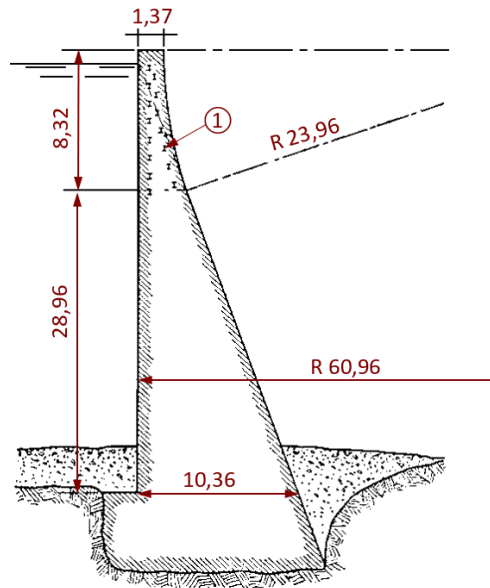
Плотина Lower Crystal Springs является плотиной из бетонной кладки. Она представляет собой систему взаимосвязанных бетонных блоков, швы между которыми залиты раствором. Портландцемент для устройства плотины был импортирован из Англии. Расход цемента составил 279 кг на м³ [2]. В верхней части плотина уклон верховой грани составляет 4:1, низовой грани — 2,3:1 (рис. 1).

Более поздние бетонные плотины имеют более обжатый профиль. Например, построенная в 1916 г. гравитационная плотина Elephant Butte высотой 91,7 м имеет профиль близкий к треугольному. Верховая грань имеет уклон 16:1, низовая — 1:0,666 в верхней части и 1:1 в нижней [3].

Однако в XIX в. строительство массивных гравитационных плотин из бетона не представляло особого интереса, т. к. в те времена дешевле было построить её из каменной кладки на цементном растворе. Более перспективно было применить бетон для строительства арочных плотин.

Первая бетонная арочная плотина, скорее всего, была построена в Австралии. Ещё в XIX в., в 1898 г. там была построена небольшая бетонная арочная плотина 75 Miles. В 1898 г. там была построена арочная плотина на ручье Moore Creek высотой 18,6 м [10]. Арка закруглена в плане с радиусом 75 м. Профиль плотины имеет вертикальную напорную грань, толщина поверху составляет 0,91 м, понизу — 7,7 м. Эта водосливная плотина успешно эксплуатируется до сих пор.

Через 5 лет (в 1903 г.) в Австралии была построена арочная плотина почти вдвое большей высоты. Это плотина Barossa, высота которой составляет 34 м [2]. Её арка закруглена с радиусом 61 м. Как и плотина Moore Creek, она имеет вертикальную напорную грань и наклонную низовую (рис. 2). Расчётная толщина плотины понизу составляет 10,36 м, а поверху — 1,37 м. Верхняя часть плотины укреплена горизонтально расположенным стальным прокатом [5].



1 — армирование стальным прокатом

Рисунок 2. Схема конструкции плотины Barossa в поперечном сечении [5]

Со временем преимущества плотин из бетона по сравнению с каменными стали проявляться отчётливее. Их можно выделить несколько:

- К началу XX в. стоимость бетона снизилась, и он стал дешевле каменной кладки.
- Для укладки бетона требовалась менее квалифицированная рабочая сила, чем каменщики.
- Бетонная кладка обладает более высокой прочностью по сравнению с каменной, поэтому её применение позволяет уменьшить объём плотин.
- Применение бетона позволяет придавать плотине более сложную форму.

По этим причинам бетон получал всё большее применение в конструкциях арочных и арочно-гравитационных плотинах.

Прогресс в развитии арочных плотин из бетона и железобетона

В начале XX в. арочные плотины из бетона стали активно применять в США.

В 1901 г. в США была построена первая арочная плотина с применением железобетона [2]. Плотина Upper Otay высотой 21,7 м, длиной по гребню 107 м имеет искривление в плане с радиусом 109 м. Толщина плотины по гребню составляет 1,2 м, по основанию — 4,3 м. Верхняя часть плотины армирована вертикальными стальными тросами диаметром 32 мм с шагом 0,6 м, которые прикреплены к двум ярусам стальных пластин.

Применение бетона позволило придавать арочным плотинам более совершенную форму.

В 1903 г. была построена арочная плотина Ithaca высотой 27,6 м [2]. Она имеет сложную геометрическую форму. Профиль плотины искривлён, имеет выгиб в верховую сторону. Для устройства водослива гребень нависает в низовую сторону. Толщина ключевого сечения понизу составляет всего 2,4 м, т. е. всего 9 % от высоты. Однако в плане арка плотины Ithaca искривлена мало, её центральный угол является острым. Плотина эксплуатируется до сих пор, её верховая облицована керамическим кирпичом, заанкерванным в бетон.

Передовым достижением явилось строительство в 1912 г. плотины Corfino (ныне Villa Collemandina) в Италии. Эта арочная плотина высотой 38,5 м имеет цилиндрическую форму с радиусом 23,5 м. Профиль плотины имеет вертикальную напорную грань, толщина понизу составляет 7 м, а поверху — 1,5 м [8]. Плотина была построена за 65 дней [8].

В 1914 г. на Аляске по проекту инженера Lars Jorgensen была построена первая в мире арочная плотина, форма которой не является цилиндрической. Это плотина Salmon Creek высотой 51,2 м и длиной по гребню 195,2 м [5]. Форма плотины построена не по принципу постоянства радиуса, который использовался до сих пор, а по принципу постоянства центрального угла по высоте. Оболочка такой плотины обладает двойкой кривизной. Концепция такой формы плотины была предложена А. Pelletreau в 1879 г. Она обеспечивает более благоприятное напряжённое состояние плотины.

Плотина Salmon Creek имеет поперечное сечение сложной формы (рис. 3), которая изменяется по длине створа. В ключевом сечении толщина профиля понизу составляет 14,48 м, коэффициент стройности составляет 0,28.

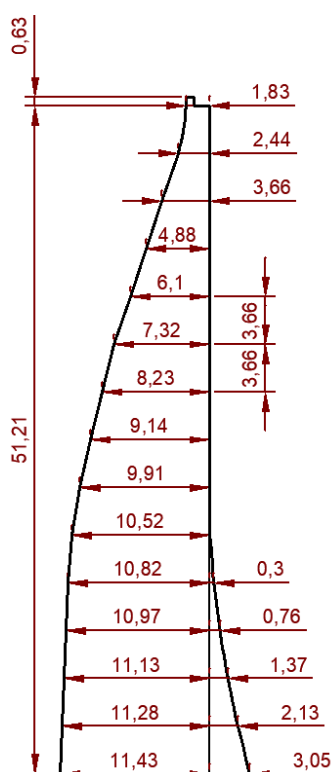


Рисунок 3. Схема вертикального профиля плотины Salmon Creek [6] в ключевом сечении (размеры указаны в м)

Плотина двойкой кривизны работает иначе, чем чистая арка. Поэтому для расчётов поведения арочной плотины сложной формы потребовалась разработка более совершенных методов расчёта, чем принявшийся до этого метод независимых арок.

Основы новых методов расчёта прочности арочных плотин были заложены уже в начале XX в. Ещё в 1905 г. американские инженеры G. Wisner и E. Wheeler стали изучать, какая часть нагрузки от гидростатического давления передаётся на борта (как в «чистой» арке), а какая передаётся на основание как в гравитационной плотине. Было предложено рассматривать несущую конструкцию плотины как набор горизонтальных (арочных) и вертикальных (консольных) элементов. Консольные элементы опираются на основание только по подошве, а арочные — двумя концами. Часть нагрузки, воспринимаемая арками, называют арочной, а другая часть, которая воспринимается консолями — консольной.

G. Wisner и E. Wheeler предложили принцип определения арочной и консольной нагрузки. Он состоит в том, что прогибы консолей от консольной нагрузки должны быть такими же, как прогибы арок от арочной нагрузки [7]. Разработанный метод расчёта позже (в 1929 г.) получил известность как метод пробных нагрузок.

Используя предложенный метод, E. Wheeler выполнил расчёты прочности для арочно-гравитационной каменной плотины Pathfinder, которая была построена в США в 1910 г. Высота этой плотины составляет 66,5 м, длина по гребню — 132 м. Тело выполнено из каменной кладки на растворе [8]. Плотина Pathfinder имеет трапецеидальный поперечный профиль с наклоном в верховую и низовую стороны. Толщина по гребню составляет 3,2 м, по подошве — 29,4 м. Путём подбора E. Wheeler определил распределение гидростатической нагрузки между арками и консолями, а также подсчитал напряжения в них [7]. Он также изучил влияние температурного воздействия на напряжения в элементах плотины.

По аналогии с плотиной Pathfinder также в 1910 г. была построена другая арочная плотина, но уже из бетона и большей высоты. Плотина Shoshone (ныне Buffalo Bill) имеет высоту 93,6 м, что явилось рекордом для бетонных плотин. Плотина построена в узком каньоне шириной до 60 м, её ось имеет радиус закругления 45 м [8]. Толщина трапецеидального профиля плотины поверху составляет 3 м, понизу — 32,4 м. При строительстве плотины в 1905–1910 г. был применён бетон, внутрь которого втоплены камни массой 25–90 кг [8].

Впоследствии методы расчёта арочных плотин были усовершенствованы, что позволило сделать их более тонкими. В 1921 г. швейцарский инженер Fred Noetzi разработал метод пробных нагрузок, представив относительно простые формулы для расчёта консольных и арочных нагрузок.

В целях подтверждения теоретической методики расчётов в 1920-х годах было выполнено изучение напряжённо-деформированного состояния арочных плотин на крупномасштабной модели [7].

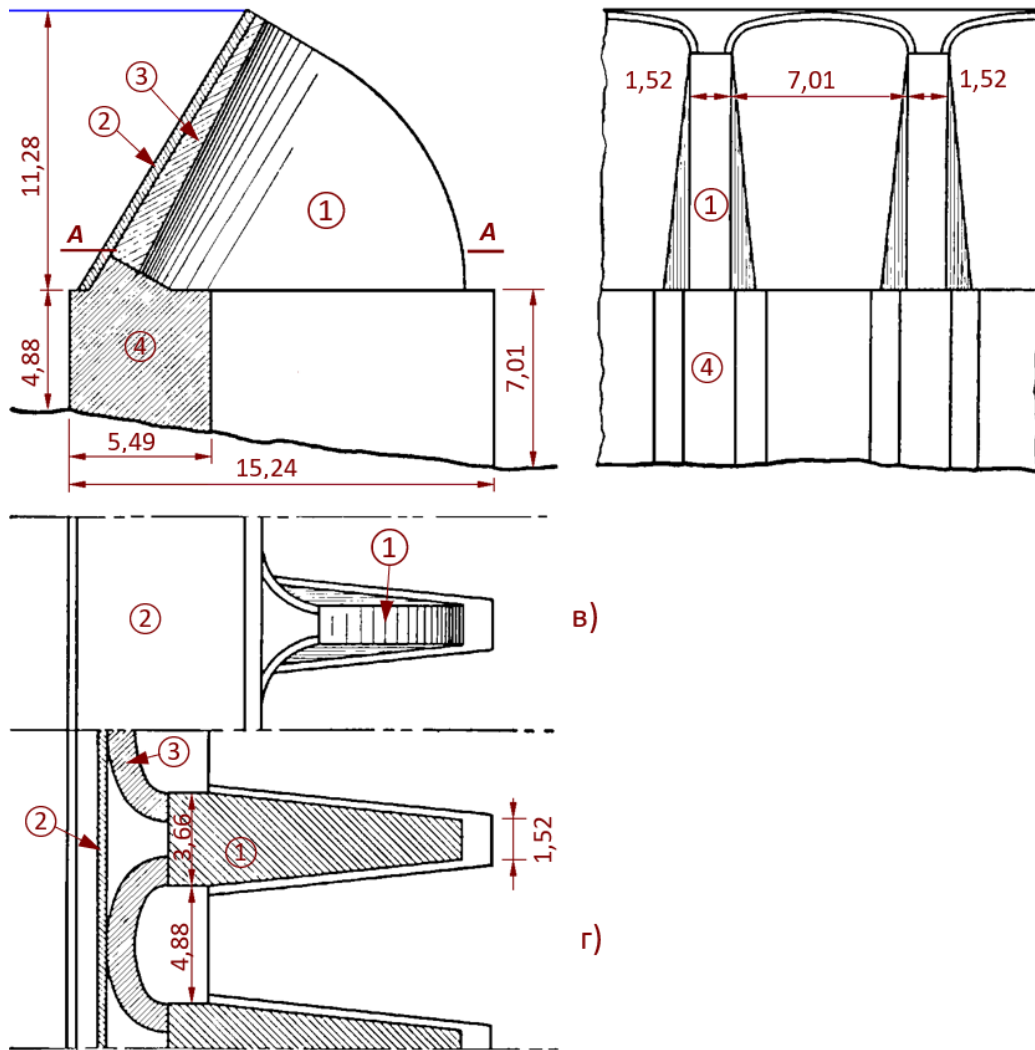
Метод пробных нагрузок получил широкое распространение в проектной практике. В частности, он был использован при проектировании ряда высоких арочно-гравитационных плотин, в частности плотин Owyhee (H = 127 м, 1932) и Boulder (ныне Hoover, H = 221 м, 1936). Плотина Hoover стала уникальным достижением гидротехники, первой в мире сверхвысокой плотиной.

Развитие контрфорсных плотин

Появление бетона и железобетона позволило создать новые типы конструкции контрфорсных плотин.

Впервые при строительстве многоарочной плотины бетон был использован в конце XIX века. Плотина Junction Reefs (Belubula) в Австралии была построена в 1895–1897 гг. Она имеет высоту 18,3 м и длину по гребню 131 м [2; 5; 10] (рис. 4). Плотина состоит из 5 эллиптических арок с пролетом 8,5 м, которые наклонены под углом 60° к горизонту и опираются на 6 контрфорсов. Фундамент плотины и наружные стены выполнены из бетона, а верхняя часть контрфорсов выполнена из кирпича.

Первая полностью железобетонная многоарочная плотина была построена в США в 1909 г. — это плотина Hume Lake [8]. Она имеет высоту 19 м и длину 203 м. Плотина построена по проекту инженера John S. Eastwood. Она состоит из двенадцати вертикальных арок пролётом 15 м, опирающихся на контрфорсы. Плотина была построена всего за 4 месяца и оказалась дешевле плотины из каменной наброски.



1 — контрфорс из кирпичной кладки; 2 — плоское напорное перекрытие из бетона; 3 — эллиптические арки из кирпичной кладки; 4 — постамент из кирпича

Рисунок 4. Схема конструкции многоарочной плотины Velubula: а — разрез по ключевому сечению арки; б — вид с нижнего бьефа; в — план; г — горизонтальный разрез А-А [6]

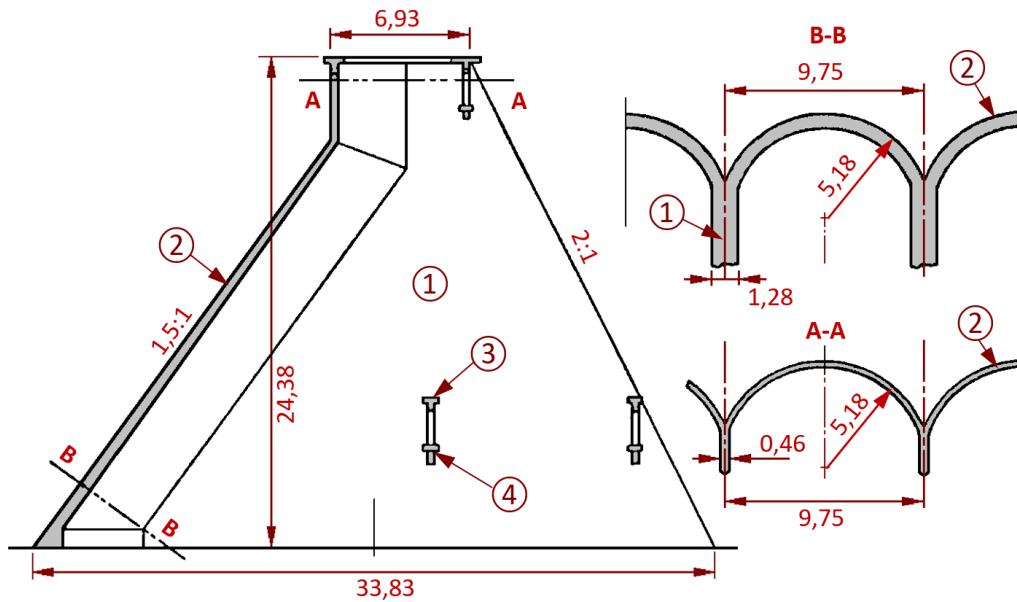
В 1911–1912 гг. была построена ещё более высокая многоарочная плотина Big Bear Valley. Высота плотины составляет 28 м. Плотина состоит из 10 арок пролётом 9,3 м [6], её общая длина составляет 110,6 м. Наклон верховой грани составляет почти 39° (рис. 5). Для обеспечения продольной жёсткости контрфорсы связаны между собой Т-образными балками.

Элементы железобетонных многоарочных плотин имеют сложную геометрическую форму и являются тонкостенными. Такие конструкции невозможно было создавать из каменной кладки.

Благодаря использованию бетона и железобетона появились и другие, новые типы контрфорсных плотин.

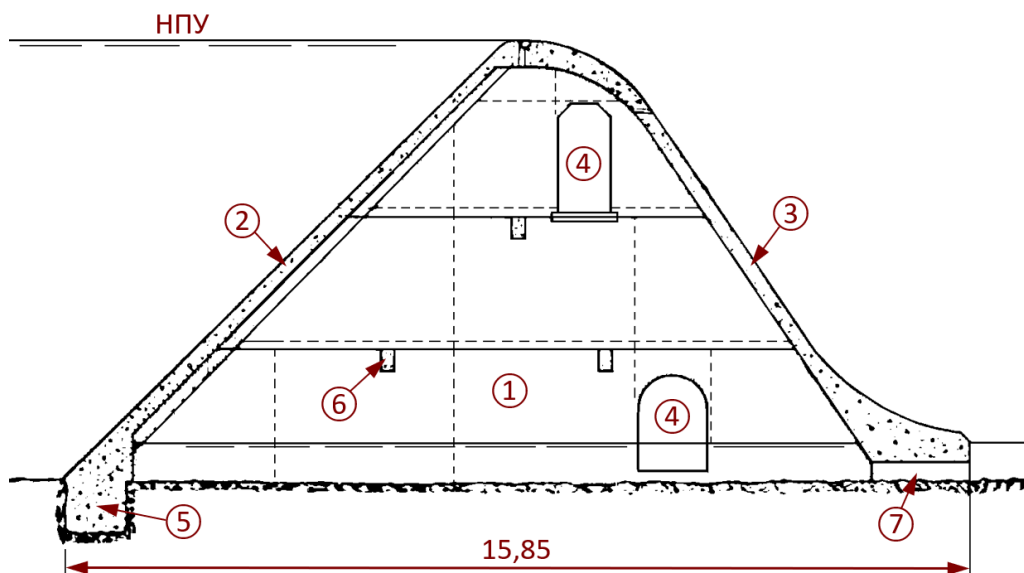
Новым типом плотин явились контрфорсные плотины с плоскими напорными перекрытиями. Конструкция такой плотины была запатентована норвежским инженером Nils F. Ambursen в 1903 г.

Одной из первых в 1905 г. близ Нью-Йорка была построена плотина Schuylerville [2]. Эта плотина высотой 7,6 м выполнена водосливной, она имеет напорное и низовое железобетонное перекрытие (рис. 6).



1 — контрфорс переменной по высоте толщины; 2 — напорное перекрытие переменной по высоте толщины; 3, 4 — поперечные балки

Рисунок 5. Схема конструкции плотины Bear Valey [5]



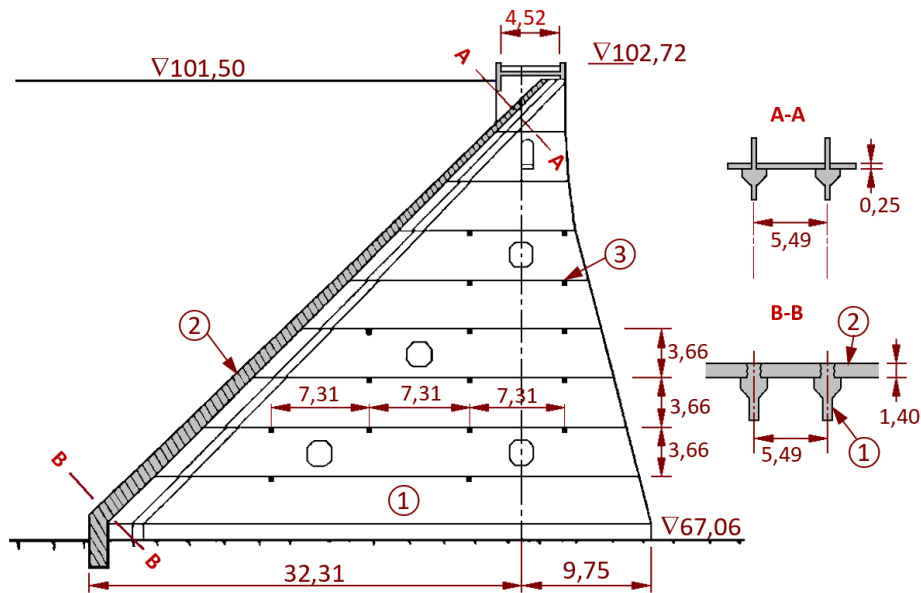
1 — контрфорс; 2 — напорное перекрытие; 3 — низовое водосливное перекрытие; 4 — проход в контрфорсе; 5 — зуб; 6 — балки; 7 — дренажное отверстие

Рисунок 6. Схема конструкции плотины Schuylerville [2]

К 1906 г. были построены плотины Juniata (Warrior Ridge) высотой 8,4 м [2] и плотина Bloede's высотой 8 м. За 4 года компания, с которой сотрудничал N.F. Ambursen, построила 22 подобных плотин высотой до 12 м.

Позже были построены существенно более высокие железобетонные плотины с плоскими напорными перекрытиями. В 1913 г. в Пуэрто-Рико была построена плотина Guayabal высотой 39,8 м [6] (рис. 7).

В 1918 г. самой высокой контрфорсной плотинной (с плоскими напорными перекрытиями) в мире стала плотина Hodges высотой 41,5 м.



1 — контрфорс; 2 — плита перекрытия; 3 — поперечная балка сечением 40×36 см

Рисунок 7. Схема конструкции плотины Guayabal [6]

Ещё одним новым типом плотин, разработанных в начале XX в., являются массивно-контрфорсные плотины. Он был предложен инженером Fred Noetzi. По его проекту в 1927–1930 гг. была построена плотина Don Martín (ныне Venustiano Carranza) высотой 35 м.

Конкуренция бетонных плотин с каменными плотинами

В 1915 г., с вводом в строй плотины Atgowrock (Boise River, США, $H = 107$ м), бетонные плотины превзошли каменные по максимальной высоте. В 1925 г. в Швейцарии была построена плотина Schräh ещё большей высоты — 111 м.

К тому времени бетонные и железобетонные плотины уже показали своё несомненное преимущество по сравнению с плотинами из каменной кладки. Примерно с 1920-х годов каменные плотины стали применять реже, чем бетонные, а затем были полностью вытеснены ими.

Теория проектирования бетонных и железобетонных плотин также сложилась в начале XX в. В литературе того времени [5; 9] можно найти аналитические методы расчёта прочности бетонных плотин, которые используются по сей день.

Выводы

1. Основные типы конструкции бетонных плотин (гравитационная, арочная, арочно-гравитационная, многоарочная) унаследованы от плотин из каменной кладки. Однако использование бетона и железобетона позволило применять новые, более сложные конструкции. В частности, были разработаны конструкции контрфорсных плотин с плоскими напорными перекрытиями, массивно-контрфорсных плотин. Со временем плотины из бетона стали рассматриваться как отдельный тип плотин.

2. Первые плотины из бетона были построены ещё в 1870-х годах. Бурное развитие плотин этого типа началось на рубеже XIX и XX столетий. Этому способствовало удешевление бетона как материала и развитие технологий бетонирования. К концу 1920-х годов были разработаны все известные типы бетонных и железобетонных плотин.

3. Становление теории проектирования жёстких плотин происходило как в результате теоретических исследований, так и эмпирическим путём на основе опыта строительства и эксплуатации. Теория расчёта прочности различных типов бетонных плотин (гравитационных, арочных, контрфорсных) в целом была разработана уже в первой половине XX в.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wegmann, E. The Design and Construction of Dams including masonry, earth, rock-fill, and timber structures / E. Wegmann. — New York: John Wiley&Sons, 1899. — 245 с.
2. Wegmann, E. The design and construction of dams / E. Wegmann. — New York: John Wiley&Sons, 1908. — 421 с.
3. Smith C.W. Construction on masonry dams. New York, McGrawHill Book Company, 1915. — 279 с.
4. Morrison C.E., Brodie O.L. Masonry dam design including high masonry dams. — New York: John Wiley&Sons, 1916. — 276 с.
5. Bligh W.G. Dams and Weirs. — Chicago. American Technical Society. 1917. — 215 с.
6. Creager W.P. Engineering for masonry dam. — New York: John Wiley&Sons, 1917. — 237 с.
7. The History Of Large Federal Dams: Planning, Design, And Construction In The Era Of Big Dams. / David P. Billington, Donald C. Jackson, Martin V. Melosi. U.S. Department of the Interior. Bureau of Reclamation, 2005. — 605 с.
8. Анисимов Н.И. Водохранилищные плотины. — М.: Гострансиздат, 1931. — 236 с.
9. Анисимов Н.И. Проектирование глухих плотин. — М.: Гострансиздат, 1936. — 284 с.
10. Chanson H., James P. Rapid Reservoir of Four Historic Thin Arch Dams in Australia // Journal of performance of constructed facilities. 1998. — С. 85–92.
11. Chanson H., James D.P. Historical Development of Arch Dams: from Cut-Stone Arches to Modern Design // Australian Civil Engineering Transactions. 2002. — Т. CE43. — С. 39-56
12. Саинов, М.П. Плотины из каменной кладки — предшественники бетонных плотин / М.П. Саинов // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 4. — URL: <https://esj.today/PDF/44SAVN423.pdf>.

Sainov Mikhail Petrovich

National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia

E-mail: SainovMP@mpei.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1139-3164>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=427608

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6506150284>

First concrete and reinforced concrete dams

Abstract. Introduction. The concept «dam» is more frequently associated with dams made of concrete, because namely concrete dams are frequently used at high heads and, therefore, are well-known. In reality, the dams of concrete started to be used relatively not long ago, i.e. from the end of the XIXth century. In order to clarify the fact when and how the concrete dams appeared, the survey of the first dams of this type was compiled.

Materials. For compilation of the survey there were used the sources of the first half of the XXth century, because only in them one can find the description of the old dams.

Results. Initially the concrete dams were considered as the type of masonry dams, because concrete is an artificial stone material. The structures and main principals of designing were inherited by the first concrete dams from masonry dams. However, gradually the concrete dams were distinguished as a separate type, because the use of concrete and reinforced concrete permitted sophistication of the existing dam structures and elaboration of the new ones. Thin arch dams of complicated geometrical shape began to be constructed of concrete and reinforced concrete. There were developed the new types of structural designs of buttress dams: reinforced concrete multi-arch dams, flat-slab dams, concrete massive-head buttress dams. Besides, the new fundamentals of the theories of computation at designing concrete and reinforced concrete dams were created.

Conclusion. Establishment of concrete and reinforced concrete dams occurred by the start of 1920-s.

By that time the concrete dams had overcome masonry dams by height and economic effectiveness and then filled a niche in hydraulic engineering.

Keywords: concrete dam; reinforced concrete dam; masonry dam; arch dam; buttress dam; multi-arch dam; flat-slab dam; massive-head buttress dam