

ВОССТАНОВЛЕНИЕ МАЛОЙ-ГЭС НА БАЗЕ ВОДОНАЛИВНОГО КОЛЕСА ВРЕМЕН И.И. ПОЛЗУНОВА НА КОЛЫВАНСКОМ КАМНЕРЕЗНОМ ЗАВОДЕ

**В.М. Иванов, Б.В. Сёмкин, Т.Ю. Родивилина, А.А. Блинов,
П.В. Иванова, Г.О. Клейн**

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Вторая половина XVIII в. в России – время, когда стремление к пышности и роскоши порождало новое небывалое убранство дворцов, когда в Петербург ввозили сокровища Востока и Запада. Впервые представленные императрице Екатерине II и ее придворному окружению в 1785 г. алтайские порфиры и яшмы вызвали восторженные отзывы.

Культура камня на Алтае существует не один век. Началу нового ремесла – резке, полировке, шлифовке камней предшествовали годы изучения недр Алтайских гор. Алтайские камни уникальны, они играют многоцветьем: особенно известны зеленые ревневские яшмы – волнистая, мелкоструйчатая, парчовая, вишневый большереченский кварцит, пятнистая риддерская брекчия, коргонские порфиры разных цветов, копейчатая и сургучная яшмы, розовый белорецкий кварцит, белый порфир с затейливым рисунком. Алтайский камень неповторим. Алтайские самоцветы сравнивали с известными всему миру античными порфирами, с камнями Древнего Египта.

В предгорьях Алтая 200 лет назад был основан поселок Колывань. Путешественник XVIII-XIX вв., отправляясь в глубь Алтая, посещал примечательное место под горой Синюхой – Горную Колывань, поскольку всем хотелось увидеть собственными глазами колывель горного дела на Алтае. Колывань заложена стараниями русских горнопромышленников Демидовых. Есть у Колывани предшественник на крутом изгибе равнинного Алей. Место это называется Локоть.

Первые алтайские вазы были сработаны из черного локтевского порфира, который первым оказался в руках петергофского камнедельного мастера Петра Бакланова, прибывшего на Алтай налаживать камнерезное дело. Этот мастер, появившись на Алтае 200 лет назад, начал приобщать молодых алтайских мастеровых к культуре обработки камня, едва не утраченной на Руси в результате нашествия татаро-монголов и возрожденной стараниями Петра I.

На заводе петергофский камнерез встретил юного Филиппа Стрижкова, талантливого сибиряка, продолжившего дело мастера после его смерти. В залах Павловского дворца-музея, в анфиладах Государственного Эрмитажа среди жемчужин мирового искусства находятся вазы, торшеры, чаши, колонны, сделанные алтайскими камнерезами. Стрижков сам доставлял их в Петербург, сам представлял чиновникам царского кабинета результат не ручной, а машинной обработки камня. Камнерезная машина – его детище, его изобретение – ускорила обработку камня в десять раз. Технические способности Стрижкова удивительно гармонично сочетались с художественными, он хорошо понимал замыслы столичных архитекторов Кварнеги, Росси, Воронихина, по рисункам которых вытачивались вазы, чаши, канделябры. Изделия предшественницы Колывани – Локтевской шлифовальной мельницы – были невелики по размерам. Ее вазы высотой не более метра, мелкие настольные.

Колыванская камнерезная фабрика была построена в 1802 г. Филиппом Васильевичем Стрижковым. Здание фабрики существует до сих пор, оно не претерпело никаких существенных перестроек, так же как и первая на Алтае демидовская плотина. Водяное колесо приводило в движение машины Филиппа Стрижкова. По сравнению с другими российскими камнерезными фабриками того времени – Петергофской и Екатеринбургской – был сделан своеобразный шаг вперед, так как Колывань предназначалась для работы над крупными вещами, и в этом равных ей не было.

Колыванские изделия, большие и малые, разошлись по всему свету. Несколько изделий подарены в XIX в. и теперь находятся в Турции, Японии, Швеции. Колыванские изделия из музеев Санкт-Петербурга и его пригородов экспонируются в Париже, Чикаго, Лондоне и Вене. Их не раз отмечали дипломами и медалями. Всего за время существования фабрики изготовлено около 900 значительных произведений, большая часть их сохранилась

до сегодняшнего времени. Только в каталоге Петербургского Эрмитажа 89 ваз, торшеров, чаш и 4 камеи. Период расцвета фабрики – первая половина XIX в. Изделия имели лаконичные обтекаемые формы, отвечающие принципам классицизма господствовавшего в первой половине XIX в. в архитектуре и искусстве, гладко отполированная их поверхность подчеркивала выразительность самого камня и его декоративные качества.

Заказчиком этих изделий являлась царская семья, изготавливали их по эскизам лучших русских архитекторов А. Воронихина, Ч. Камерона, Д. Кваренги, К. Росси. Одно из наиболее известных произведений – «Царица ваз» из зелено-волнистой ревневской яшмы с овальной чашей диаметром 504х322 см, высотой 257 см, весом 16 тонн. Ее обрабатывали более 11 лет только на фабрике, не считая предварительной обтески глыбы в карьере. В 1843 г. она была доставлена в Санкт-Петербург (рисунок 1).

Активное возрождение камнерезного искусства Алтая началось с 1975 года, когда

было принято постановление «О народных художественных промыслах». Алтайский Краевой музей изобразительных и прикладных искусств организовал выставку «Камнерезное искусство Алтая» посвященную 175-летию Камнерезного завода. Экспонаты-участники выставки были привезены из Государственного Эрмитажа, из Павловского дворца-музея. Первым заказчиком завода стал музей. Три вазы выполнили старые мастера-камнерезы для музея по образцам произведений находящихся в Павловском дворце-музее. Над созданием вазы, посвященной 250-летию города Барнаула, работали художники и архитекторы краевого центра. По их проектам колыванские камнерезы выполнили вазы «Орденская», «Возрождение», «Колывань». Художественная продукция завода органично вошла в интерьеры общественных зданий. Панно, выполненные в технике «флорентийская мозаика» украсили здания Барнаульского речного вокзала, фойе Дворца культуры моторостроителей.



Рисунок 1 – «Царица ваз» из зелено-волнистой ревневской яшмы в Государственном Эрмитаже

В создании экономической основы для развития завода приняло участие государственное унитарное предприятие «Алтайавтодор». ГУП «Алтайавтодор» в 1987 – 1992 гг. осуществил строительство 57 км дороги Курья-Колывань с усовершенствованным покрытием и ремонт дороги Колывань – поселок 8 Марта с твердым покрытием. В феврале 1999 г. завод вошел в состав ГУП «Алтайавтодор» в качестве дочернего предприятия. В 2000 г. на заводе было установлено новое оборудование в цехе обработки ювелирных изделий, с помощью новой аппаратуры налажено восстановление отработанных дисковых алмазных пил. Завод получил несколько крупных заказов на изготовление облицовочной плитки, бордюрного камня, гранитных ступеней, цилиндрических каменных рубашек для химической промышленности. Предприятие сегодня выпускает ювелирные изделия, художественные изделия: вазы, шкатулки, письменные приборы, мозаичные панно, столы с инкрустацией, балясины.

В этом году Колыванскому камнерезному заводу исполняется 200 лет. В связи с этим, Администрацией Алтайского края принято решение о восстановлении исторического

памятника, включая водоналивное колесо и гидротехнические сооружения. Работы по реконструкции возглавило ГУП «Алтайавтодор» по проекту разработанному кафедрой теплотехники, гидравлики, водоснабжения и водоотведения (ТГиВВ) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова (АлтГТУ).

Современное состояние гидротехнических и гидроэнергетических сооружений Колыванского камнерезного завода (ККЗ)

Водоналивное колесо диаметром 6,4 м из дерева было центральным двигателем, служащим приводом шлифовальных и сверлильных станков.

До настоящего времени сохранились некоторые исторические сооружения (рисунок 2): здание завода (рисунок 3); земляная плотина высотой 10 м, которая находится в хорошем состоянии – отсутствуют видимые выходы фильтрационного потока в нижнем бьефе плотины; водосбросные сооружения (рисунок 4). Состояние водосбросных сооружений удовлетворительное.

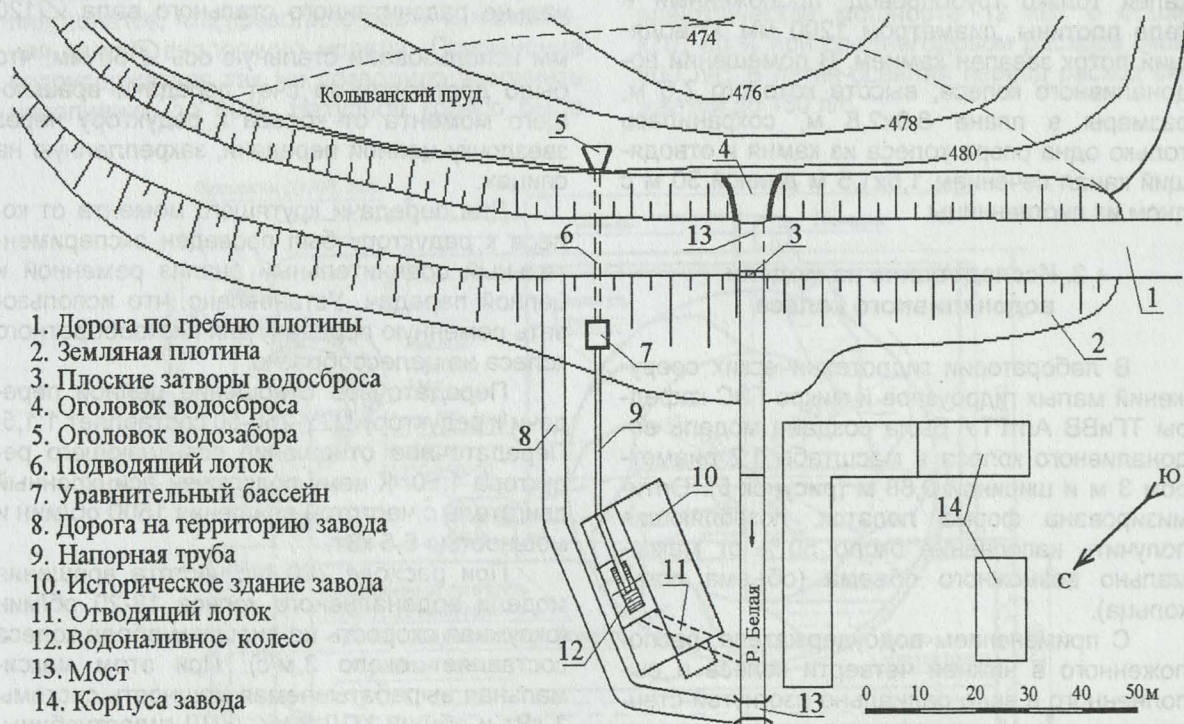


Рисунок 2 – Ген. план сооружений Колыванского камнерезного завода

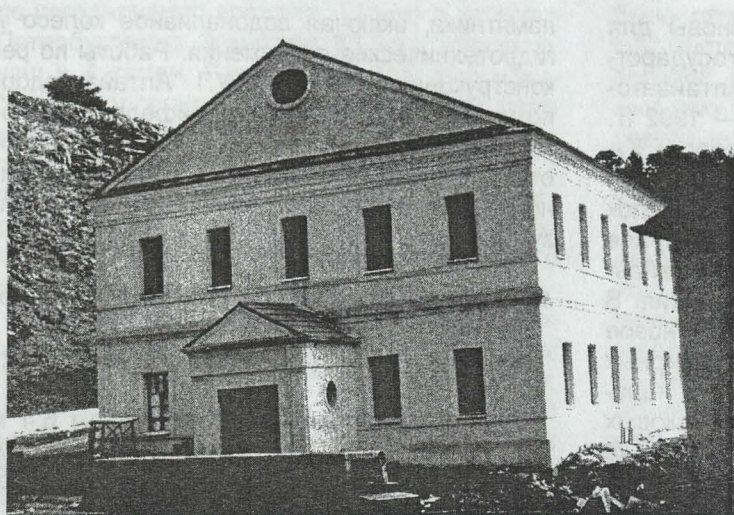


Рисунок 3 – Историческое здание Колыванского камнерезного завода



Рисунок 4 – Водосбросные сооружения

Поверхности каменных конструкций имеют незначительные трещины, которые образовались под воздействием природных факторов. Русло реки ниже плотины заполнено отходами камнеобрабатывающего производства. Историческое здание, где было установлено водоналивное колесо, требует капитального ремонта, само водоналивное колесо отсутствует. От подводящего канала остался только трубопровод, проложенный в теле плотины, диаметром 1200 мм. Отводящий лоток завален камнем. В помещении водоналивного колеса, высота которого 7,5 м, размеры в плане 8,0х2,8 м, сохранилась только одна опора колеса из камня и отводящий канал сечением 1,5х1,5 м длиной 30 м с дном из лиственницы.

2. Исследование на модели водоналивного колеса

В лаборатории гидротехнических сооружений малых гидроузлов и микро ГЭС кафедры ТГиВВ АлтГТУ была создана модель водоналивного колеса в масштабе 1:2 диаметром 3 м и шириной 0,88 м (рисунок 5). Оптимизирована форма лопаток, позволяющая получить наполнение около 50 % от максимально возможного объема (объема полукольца).

С применением водоудержателя, расположенного в нижней четверти колеса и выполненного в виде радиально изогнутой стенки с зазором 10 мм от колеса, удалось увеличить наполнение до 60 %. Увеличивая наполнение колеса, мы можем, при одной и той же снимаемой мощности, уменьшить его размеры. По историческим данным наполнение во-

доналивного колеса Колыванского камнерезного завода было около 40 %.

Вода подавалась на модель колеса насосной станцией, включающей пять насосов К160/30, по трубопроводу диаметром 300 мм с задвижками Ду300. Максимальный расход воды 200 л/с. Это позволило создать систему автоматического регулирования водяным колесом мощностью 4 кВт. Вместо первоначально рассчитанного стального вала $\varnothing 120$ мм использовали стальную ось $\varnothing 60$ мм, что было достигнуто за счет передачи вращающего момента от колеса к редуктору через звездочку цепной передачи, закрепленную на спицах.

Для передачи крутящего момента от колеса к редуктору был проведен экспериментальный сравнительный анализ ременной и цепной передач. Установлено, что использовать ременную передачу для низкооборотного колеса не целесообразно.

Передаточное отношение цепной передачи к редуктору Ц2У-250-50 составляет 1:1,5. Передаточное отношение повышающего редуктора 1:50. К нему подключен асинхронный двигатель с частотой вращения 1500 об/мин и мощностью 5,5 кВт.

При расходе 200 л/с частота вращения модели водоналивного колеса 18-20 об/мин (окружная скорость на внешнем ободе колеса составляет около 3 м/с). При этом максимальная вырабатываемая мощность системы 3 кВт и общий КПД 60 % (КПД гидротурбины, например, 90 %). Общий КПД водоналивного колеса определялся как отношение электрической мощности $N_{эл}$, фиксируемой ваттметром в блоке управления электрической на-

грузки, к гидравлической мощности $N_{гидр}$. Гидравлическая мощность определялась по формуле

$$N_{гидр} = \rho g H Q,$$

где ρ – плотность воды; g – ускорение свободного падения; H – высота от излива воды до уровня воды в отводящем канале, приблизительно равное диаметру колеса; Q – расход воды.

КПД привода составляет 80 %, КПД генератора – 80 %. Общий КПД было увеличено с 40 % до 60 % за счет водоудержателя, который задерживал воду в карманах колеса (рисунк 5).

Таким образом, применение водоналивных колес наиболее эффективно в случае прямого использования гидроэнергии низкооборотными потребителями без применения редуктора и преобразования ее в электрическую энергию.

3. Проект натурального водоналивного колеса

На основе данных, полученных при исследовании модели водоналивного колеса в масштабе 1:2 $\varnothing 3$ м, разработан проект водоналивного колеса в натуральную величину шириной 0,9 м (рисунк 8). При этом был использован накопленный опыт конструирования лопаток, что позволило достичь наполнения колеса аналогично модели. Применение водоудержателя так же позволило увеличить наполнение до 60%. Натурное колесо было

спроектировано с деревянными лопатками на металлическом каркасе.

Из водохранилища вода подается по трубопроводу из бетона 1,5х1,5 м через тело плотины в уравнильный бассейн, далее поступает на колесо по металлической трубе $\varnothing 0,8$ м с переходом на прямоугольную 0,7х0,7 м.

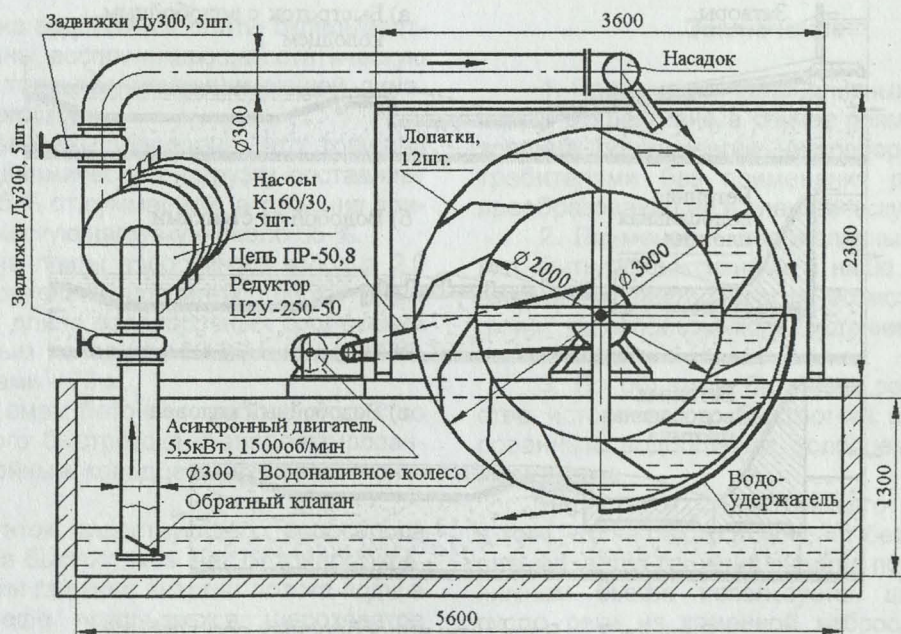
Расчетный расход воды 1000 л/с, при этом частота вращения колеса 10 об/мин, а окружная скорость, так же как и на модельном колесе, около 3 м/с.

Вместо деревянного вала $\varnothing 500$ мм использована стальная ось $\varnothing 100$ мм.

Внутри здания на подводящем трубопроводе предусмотрена задвижка $\varnothing 500$ мм с электроприводом для регулирования расхода воды, подаваемой на колесо.

Для передачи крутящего момента от колеса к редуктору Ц2-350-31,5 применена цепная передача с передаточным отношением 1:2,5. Передаточное отношение повышающего редуктора 1:31,5.

К редуктору подключен генератор, в качестве которого использован асинхронный двигатель с частотой вращения 750 об/мин и мощностью 16 кВт. При этом максимальная вырабатываемая водоналивным колесом электрическая мощность 12 кВт с общим КПД 60 % при среднегодовом расходе около 500 л/с. В летне-осенний период расход снижается до 150 л/с.



Рисунк 5 – Испытательный стенд с моделью водоналивного колеса

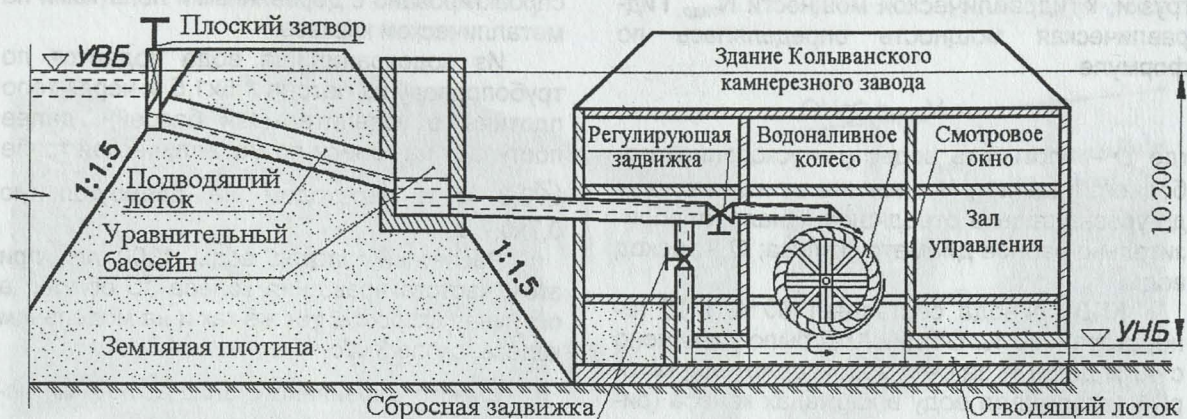


Рисунок 6 – Разрез по оси водовода Кольванского камнерезного завода

Таким образом, применение водоналивных колес может быть эффективно и в наше время для выработки электроэнергии, при наличии неиспользуемого источника энергии потока воды.

4. Поверочные расчеты на статические и динамические нагрузки крепления за водосбросными сооружениями

В теле каменно-земляной плотины камнерезного завода устроены три водосбросных отверстия с плоскими затворами высотой 4,5 м и шириной 1,5 м для пропуска максималь-

ного паводка однопроцентной обеспеченности $12,5 \text{ м}^3/\text{с}$ (рисунок 4).

Боковые устои выполнены из бетона, а "быки" из металлического двутаврового профиля.

За водосбросными отверстиями расположен быстроток длиной 25 м и перепадом 4,1 м.

Русло реки в нижнем бьефе сложено из камней крупностью 150-200 мм.

Проведены поверочные расчеты и технико-экономическое сравнение вариантов существующего водосброса с быстротоком и водосбросных сооружений, включающих водосливную бетонную плотину практического профиля (рисунок 7).

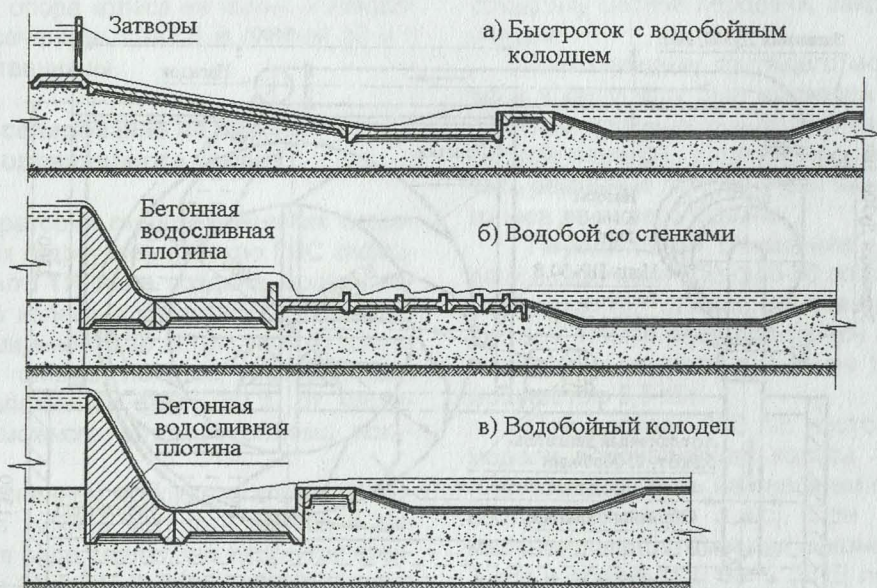


Рисунок 7 – Варианты водосбросных сооружений

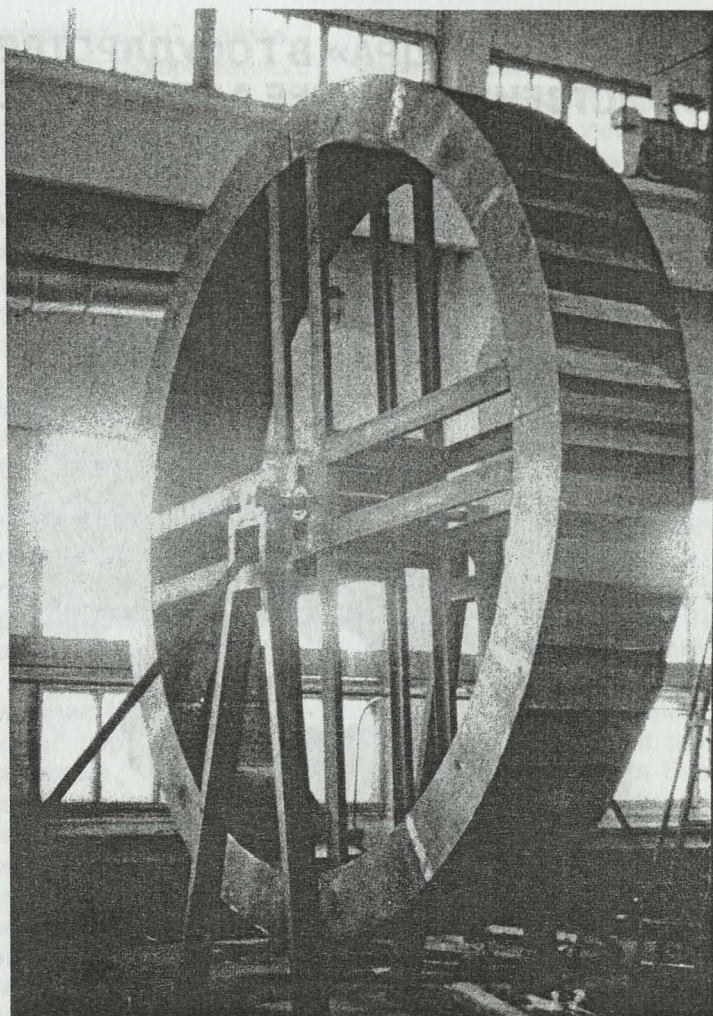


Рисунок 8 – Водоналивное колесо

Толщина водобойной плиты складывается из толщины, воспринимающей статическую нагрузку, и толщины воспринимающей динамическую нагрузку.

При расчете определено, что толщина плиты на динамическую нагрузку составляет примерно 35 % от суммарной, а толщина плиты на статическую нагрузку – около 65 %.

Толщина плиты водобойного колодца 2,0 м, а при сооружении водобойных стенок – 1,7 м.

Общая длина водосбросных сооружений с водобойным колодцем 56 м, а с водобойными стенками – 73 м.

По объемам бетонных работ устройство исторического быстротока с запроектированным водобойным колодцем наиболее экономично.

Недостаток существующего водосброса в том, что за быстротоком нет бетонного крепления, а для гашения энергии потока воды в нижнем бьефе используется шероховатое русло реки из каменной наброски, которое размывается в паводковый период.

Заключение

1. Применение водоналивных колес наиболее эффективно в случае прямого использования гидроэнергии низкооборотными потребителями без применения редуктора и преобразования ее в электрическую энергию.

2. Применение водоналивных колес может быть эффективно и в наше время, для выработки электроэнергии, возможно при наличии неиспользуемого источника энергии потока воды.

3. По объемам бетонных работ устройство исторического быстротока с запроектированным водобойным колодцем наиболее экономично.

Недостаток существующего водосброса в том, что за быстротоком нет бетонного крепления, а для гашения энергии потока воды в нижнем бьефе используется шероховатое русло реки из каменной наброски, которое размывается в паводковый период.