

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ -
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА

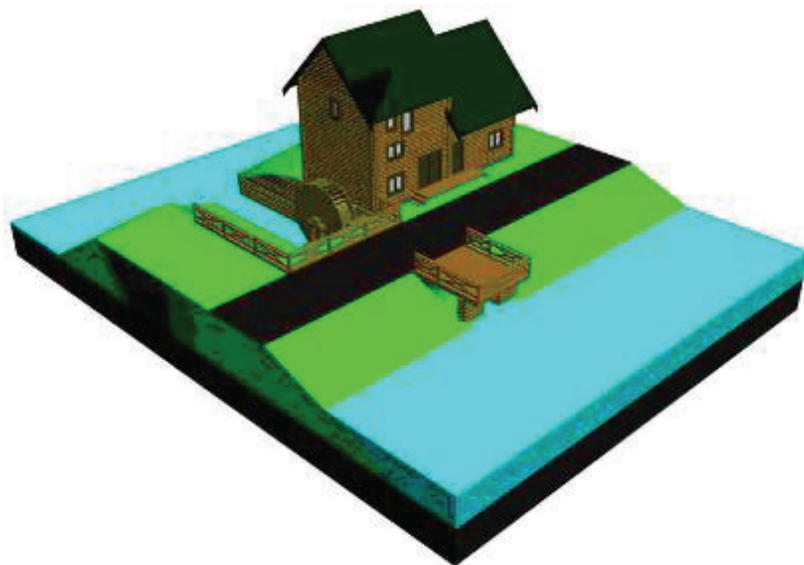
*«Уважение к минувшему-
вот черта, отличающая
образованность от дикости»
/А.С. Пушкин/*

О.Н. Черных, В.В. Волшаник, А.В. Бурлаченко

СОВРЕМЕННЫЕ ВОДЯНЫЕ МЕЛЬНИЦЫ РОССИИ

Монография

Под общей редакцией О.Н. Черных



Москва 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	6
Глава 1. Краткая история и роль водяных мельниц в России	11
1.1. Первые водяные мельницы на Руси.....	11
1.2. Российские водяные мельницы 18-19 веков.....	20
1.3. Водяные мельницы в России в конце 19 — начале 20 веков....	43
1.4. Водяные мельницы в Российской Федерации в конце 20 — первой четверти 21 веков.....	45
Глава 2. Мельничные гидроузлы и мельничные пруды	63
2.1. Принцип работы водяных мельниц.....	63
2.2. Компоновка сооружений мельничных гидроузлов.....	64
Глава 3. Водяные колеса	75
3.1. Определение расчётного расхода воды на мельничном колесе...75	
3.2. Классификация мельничных водяных колес и рекомендации по выбору типа колеса.....	79
3.3. Определение размеров водяного колеса.....	88
3.3.1. Висячие колёса.....	88
3.3.2. Мутовчатые колёса.....	93
3.3.3. Верхненаливные колёса.....	95
3.3.4. Средненаливные колёса.....	99
3.3.5. Подливные колёса.....	104
3.4. Установка колеса в водном тракте.....	107
3.4.1. Особенности конструкции, изготовления и установки деревянных водяных колёс.....	108
3.4.2. Металлические водяные колёса.....	116
Глава 4. Конструкции гидротехнических сооружений водяных мельниц	129
4.1. Плотины.....	129
4.2. Водопропускные сооружения.....	184
4.3. Подводящий и водоотводящий лотки.....	196
4.4. Водоём и водоотводящее русло.....	207
Глава 5. Здание водяной мельницы	218
5.1. Здание мельницы – её основное технологическое помещение....	218
5.2. Деревянные здания: срубы, каркасные строения, стены, перекрытия, кровли	221
5.3. Каменные здания: стены, перекрытия, кровли.....	247



Рис. П2.17. Мельница для урбеча в с. Рахата, Дагестан



Рис. П2.18. 100 летняя мельница Турынгурт в Увинском районе Удмуртии (водяное колесо было заменено на турбину), 2015 г.



Рис. П2.19. Мельница в музее хлеба, Болгаре, Татарстан, 2012 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Природная энергия в прошедшие века, как и теперь, имела огромное значение в жизни человека. Однако перечень первичных источников энергии, добываемых человеком из окружающей среды в двадцатом веке, существенно изменился по сравнению с ранними веками. Тогда тепловая энергия получалась от сжигания дров, механическая – от домашних животных, течения рек, движения ветра. Громадные достижения человечества двадцатого века, связанные с открытием месторождений нефти, горючего газа и угля, освоением использования энергии больших рек, подчинением энергии атома существенно изменили образ жизни человека. Однако «тот, кто не помнит прошлого, не имеет будущего», поэтому историческая правда должна быть присутствующей и у современного человека. Ручной труд, сила домашних животных, освоенная энергия природных источников не должны быть исключены из человеческой памяти, потому что они использовались не только для облегчения, но и для самого продолжения человеческой жизни.

История мельничного строительства, насчитывающая уже века, свидетель высокой человеческой мысли, источник питания многих поколений людей, украшение сельского пейзажа привлекает многих наших современников, подвигает их вкладывать свой труд в изучение мельничного строительства в России, исследовать оставшиеся мельничные строения, сохранять и воссоздавать их, пропагандировать бережное отношение к нашей древности и ее воссоздание в наши дни.

Всему перечисленному отвечает и предлагаемая читателю настоящая монография, написанная на основе многочисленной специальной литературы, широко издававшейся в России около 100 лет тому назад. Особо детально рассмотрены гидротехнические сооружения, сопутствующие основным сооружениям водяных мельниц. Растущий современный интерес к архитектуре и технологическим особенностям российских водяных мельниц будет значительно удовлетворен изданием настоящей монографии, раскрывающей многие технологические особенности строительства и производственной эксплуатации исторических, да и современных водяных мельниц, издание которой будет содействовать сохранению достижений русских «водяных людей», возрождению мельничного строительства, уже начинающегося в некоторых местах наших просторов по инициативе людей, стремящихся сохранить российские традиции и исторических вид многих уголков нашей великой Родины.



Рис. П2.14. Водяная мельница в деревне Желонкино (Марисала), Сернурский район, Республика Марий Эл на р. Она

(царские и дворянские). Они представляли собой многофункциональные комплексы, обеспечивавшие разнообразные потребности их владельцев. В классической русской усадьбе наряду с архитектурным ансамблем большое место отводилось хозяйственной и парковой частям комплекса с водными системами. Для русских усадеб XVI-XVIII вв. при создании парков было характерно использование рек, мелких речек и ручьёв для устройства искусственных водоёмов: запруженных или прудов-копаней. Для столичного мегаполиса наиболее разнообразными и насыщенными гидротехническими сооружениями (ГТС) были террасовые парковые комплексы, расположенные в долинах рек (усадьбы: «Лефортово», «Коломенское», «Царицыно», «Братцево» в Москве и др.). В них располагалось большое количество специализированных ГТС: каскады прудов на оврагах, фонтаны, мельницы, мосты, гроты, родники, лестничные сходы, балюстрады, острова, бассейны и т.д. В последние десятилетия усадебные дворянские комплексы-памятники находятся на грани уничтожения или деградации. Разрушаясь физически и морально, они теряют как художественную ценность, так и свою целостность как ансамбля.

Для сохранения памяти, культурного и исторического ландшафта, улучшения экологической ситуации в районе расположения водного объекта и повышения комфортности проживания населения в условиях урбанизированных территорий необходимо сохранить усадебные дворянские комплексы-памятники. Главной тенденцией при этом должно быть максимальное воссоздание всей исторической составляющей территории усадьбы и парка с предложениями и рекомендациями по сохранению их границ, планировки, функциональных зон, природных и искусственно созданных озеленённых пространств, ценных культовых и гидротехнических сооружений. Именно в усадебном строительстве нашли своё яркое выражение реалистические основы русской классической архитектуры и строительного искусства. Важным элементом мероприятий по реставрации и благоустройству парков усадеб является восстановление их искусственных водных систем. В процессе архивных изысканий и натурных обследований, предшествующих разработке проекта реставрации и приспособления объекта историко-культурного наследия либо памятника садово-паркового искусства со сложившейся водной системой к современным условиям, необходимо найти и оценить все характерные особенности, присущие данному усадебному комплексу и его ГТС, что позволит сберечь его первоначальный облик, историческую и техническую достоверность.

В связи с изменением социальных условий и утратой своего первоначального назначения на сегодня сохранилась лишь мизерная доля отечественных водяных мельниц, и мы стоим на грани потери этого



Рис. П2.9. – Водяная мельница в с. Лох Новобурасский район Саратовской области, восстановленная по проекту студентов МГСУ, 2012-2015 гг.



Рис. П2.10. Витебская губерния, Полоцкий уезд, Спасо-Ефросиньевский женский монастырь: а - 1912 г.; б – остатки в 2009 г. области (В.М. Песков, 1988 г.)

большинство людей воспринимают водяное колесо только в романтическом аспекте, не иначе, как элемент конструкции старой мельницы, работа которого сопровождается шумом падающей на него воды плоского, непроизводительного потока. Очевидно, что более эффективные конструкции и пути современного использования водяного колеса ещё предстоит совершенствовать. И в настоящее время оно может служить важным гидравлическим преобразователем энергии с разным целевым использованием. Например, для получения децентрализованной электроэнергии. Особый туристический потенциал имеют мельничные гидроузлы при образовании как историко-культурных, так и природно-рекреационных зон для полноценного отдыха, познавательного и культурного досуга населения. На ряде восстанавливаемых исторических прудовых объектах столичного региона уже сейчас при проектировании предусматривается комплекс ГТС «плотина – водяная мельница» («Влахернское-Кузьминки», «Коломенское», «Царицыно», «Бородино»), что способствует повышению внимания к историческому и культурному наследию Московии. Действовавшие ранее в России водяные мельницы не имели не только организационных объединений отдельных мелких мукомолов, но и общей системы в техническом смысле, поскольку конструкции водяных колёсных двигателей Сибири резко отличались от мельниц Северо-Запада России, различны были даже термины частей мукомольных механизмов и конструкций зубчатых передач. Критическое использование технического опыта, накопленного в прошлом, а вместе с этим и бережное использование сохранившихся гидротехнических сооружений того времени будет достойной оценкой замечательных дел русских гидротехников XVI...XIX вв.

Настоящая монография предназначена как для специалистов-водохозяйственников, занимающихся разработкой проблем использования низкопотенциальных источников энергии водных потоков, так и для студентов, обучающихся по специальностям «Природообустройство и водопользование», «Природоохранное обустройство территорий», «Комплексное использование и охрана водных ресурсов», «Гидротехническое строительство», «Инженерная защита окружающей среды». Наряду со строительными дисциплинами материалы данной монографии могут быть использованы для иллюстрации и углубления знаний студентами, стажёрами, преподавателями, инженерно-техническими работниками водных объектов и проектировщиками при ознакомлении с историей гидравлики, науки, техники, водных и строительных искусств. Кроме того, собранные и проанализированные материалы могут быть использованы при создании и формировании музеев усадебной и крестьянской культуры и быта, при разработке программ сохранения и возрождения



а



б



в

Рис. П2.4. Водяная мельница из д. Берёзовая Сельга в музее-заповеднике Кижы (2000 г.): а – здание мельницы; б - вал из бревна, приводящий в работу жернова; в - водяные колёса мельницы в разобранной на момент реставрации «колеснице»

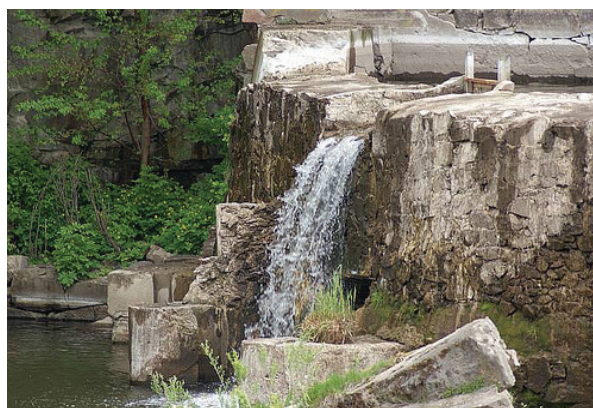


Рис. П2.5. Водяная мельница. Щербаки (вид с верхнего и нижнего бьефа)



а



б

Рис. П2.6. Мельничный гидроузел на р. Жужа в музее-заповеднике «Коломенское» (2008 г.): вид с верхнего и нижнего бьефа

ГЛАВА 1. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ И РОЛЬ ВОДЯНЫХ МЕЛЬНИЦ В РОССИИ

1.1. Первые водяные мельницы на Руси

На Руси мельницы появились несколько позднее, чем в странах Западной Европы и Ближней Азии, где они начали использоваться с X века. Объясняется это тем, что с середины XIII в. народы Восточной Европы подверглись нашествию татаро-монголов. В результате в Руси, находившейся до этого на таком же примерно уровне технико-экономического развития, что и страны Западной Европы, начало технической революции было задержано.

В летописях водяные мельницы упоминаются впервые на северо-востоке и юго-западе древней Руси в 1267 г., но, судя по «Уставу» Ярослава существовали они и раньше (примерно в XI в.) [2]. Ярославов устав о земских делах говорит о затоплении, причинённом мельницей. Он предоставляет каждому желающему возможность устроить мельницу. Если, однако, она вызовет затопление лугов и полей, то владелец был обязан «соблюдать беспакостное», т. е. не допускать ущерба соседям. Если же удержать воду было нельзя, то по уставу «да упразднится мельница».

Дмитрий Донской в своём духовном завещании 1389 г. отказал своей жене сёла Луцинское и Семницкое с мельницами на р. Яузе. Очевидно, в это время в самой Москве уже имелось немало мельниц, т. е. также плотин и прудов [104]. В духовной грамоте князя Владимира Андреевича в 1410 г. упоминаются принадлежавшие ему водяные мельницы в сёлах: «Поповское на Коломенке с мельницею, Колычево на Неглимне мельница; Курьясов с луги да на устьи Мьстицы мельница, Косино с тремя озера да мельница на усть Яузы». В XV веке очевидцы упоминают речку Неглинную, «приводящую в движение множество мельниц». В 1519 г. «князь Великий Василий Иванович пруды копал и мельницу камени доспел на Неглинне» [10]. Современник указывает, что запруженная река Неглинная разливается в виде пруда и «наполняет рвы крепости, на которых находятся мельницы» [110]. На плане Кремля XVI века прудов и плотин нет, нет и водяного рва, но две двухколёсные мельницы на реке Неглинной изображены. Было также «очень много мельниц для общего пользования граждан» на реке Яузе. В это время также и речка Неглинная приводила в движение множество мельниц [104]. Пруды на Неглинной просуществовали до 1782 г., когда они были спущены в связи с устройством водопроводного канала. Примерно в 1514 - 1560 гг. появились водяные мельницы на Соловецких островах (рис. 1.1).

11	в музее сельского быта в Белокурихе, построенная по проекту В.И. Войчишина, Алтайский край	2015 г.	Однопоставная, верхнего боя. Построена на личные средства автора проекта, спонсоров и поддержке со стороны губернатора края. Стоимость арт-объекта - 2 млн.руб. Здание: сруб 6х6,5 м из лиственницы покрыт тёсом на каменных опорах, своё поле, территория стилизована под русскую усадьбу с сельским бытом, проходят мастер-классы.
12	Турынгуртская в Увинском районе Удмуртской республики	1910 г. работала до 2013 г., законсервирована	водяное колесо заменено на турбину, деревянный лоток – на металлическую трубу
13	с. Икра Курахского района Дагестана Северо-Кавказский ФО	Более 300 лет, работала до 2000 г. реконструирована в 2014 г. в рамках проекта «Инвестиции в Дагестан».	пекарня
14	мельница Амбо в Ботлихском районе Дагестана.		Мельница и пекарня За урбечем сюда приезжают даже из Махачкалы и Хасавюрта.
15	мельница для урбеча в с. Рахата, Дагестан		Возможно ещё 5 таких мельниц есть в Дагестане?
16	в с. Колодежное, Воронежская обл.	2009 г.	Мельница-памятник 18 века, требует капитального ремонта
17	в д. Желонкино (Марисала), Сернурский район, Республика Марий Эл на р.Она	XVIII в., реконструкция 1945 г., работала до 2014 г.	двухярусный «пятистенный» сруб «в обло», требуется текущий ремонт

разрешению главы Новгорода из ряжей была построена буна и мельница с нижебойными водяными колёсами: «...и ограду сдела, и колесо постави, и камень жерновой постави, и камень нача и вертетися, тако видети кабы ему и молоти» [10]. По тому времени это было крупномасштабное строительство. Рубили «срубы великие», ряжи подвозили к месту установки на плаву и загружали их валунами, чтобы «топити те срубы камением велицем». Все районы Новгорода и монастыри участвовали в этом строительстве: «возити на судах камен вален и сыпати в пруды и возведеша пруд сверх воды и угрузиша дно пруда». Однако через год, во время половодья редкой обеспеченности, буна и мельница были разрушены. На их месте «не бысть ничего, толико мало срубов осталось, да камение в воде». Это был один из первых в мировой гидротехнической практике, хотя и неудачный, опыт утилизации водной энергии больших рек путём постройки плотин.

Следующая попытка возвести мельницу на Волхове была осуществлена в 1600 г. и оказалась удачной. Сведения об этом событии содержатся в Пискаревской летописи, где говорится, что по велению царя Бориса Федоровича (Годунова) «зачата в Великом Новгороде мельница делати на Волхове». В общественной мельнице были поставлены «три анбары, а жернов во всяком анбаре по пяти и по шти и болши». Постройка мельничной плотины создала мост и удобные условия для рыбной ловли. В это время ни в одной из европейских стран на больших реках, подобных Волхову, плотин не было. По словам исследователя Пискаревского летописца О.Я. Яковлевой, мельничная плотина 1600 г. являла собой «прообраз современной Волховской плотины».

О мельницах на Волхове известно еще из копии грамоты 1691 г. царей Иоанна и Петра Алексеевичей новгородскому воеводе Никите Петровичу Прозоровскому и дьяку Ивану Шапкину. Из документа следует, что в 1680 г. новгородским «посадским человеком» купцом Василием Проезжаловым построены «внов» две водяные мельницы на стругах (судах), а струги были привязаны к городням «большого» волховского моста. Для того чтобы на мельничные колеса не попадал речной мусор, имелись «запрудны деревьем с решетками». Лишь через четыреста лет 19 октября 1926 г. первый ток в Ленинград пошёл от Волховской ГЭС.

Примерно с XVI в. водяные мельницы, перерабатывающие сельскохозяйственную продукцию (мукомольные, крупорушки, сукновальни и пр.), стали промышленными установками. Первая в России мельница, используемая в бумажном производстве, была построена около 1564 г. на р. Уче в деревне Вантеевка (сейчас – город Ивантеевка Московской области). Она

5,0	5,88	4,30	1,20	2	37	0,365	0,560	0,091	0,29	0,60	1,00	0,70	0,520	0,05	0,02	1,00	0,110	0,10
6,0	7,06	5,30	1,15	2	45	0,370	0,462	0,092	0,30	0,60	0,95	0,70	0,520	0,05	0,02	0,95	0,120	0,10
Расход Q = 0,3 м³/с																		
3,0	5,30	2,45	1,50	3	15	0,512	0,640	0,128	0,36	0,45	1,80	0,50	0,380	0,06	0,02	1,80	0,170	0,10
4,0	7,06	3,50	2,00	3	26	0,423	0,529	0,106	0,30	0,40	1,75	0,50	0,330	0,06	0,02	1,75	0,130	0,10
5,0	8,83	4,40	1,75	3	30	0,462	0,577	0,115	0,33	0,50	1,45	0,60	0,420	0,06	0,02	1,45	0,180	0,10
Расход Q = 0,4 м³/с																		
2,5	5,74	2,00	2,50	3	12	0,520	0,510	0,131	0,34	0,40	2,00	0,50	0,330	0,05	0,02	2,00	0,140	0,10
3,0	7,06	2,45	2,20	3	15	0,510	0,638	0,128	0,36	0,45	1,90	0,50	0,380	0,06	0,02	1,90	0,145	0,10
4,0	9,27	3,30	1,70	3	18	0,577	0,721	0,144	0,40	0,60	1,40	0,70	0,590	0,06	0,02	1,40	0,160	0,10
5,0	11,62	4,15	1,50	3	21	0,620	0,775	0,155	0,43	0,45	1,10	0,80	0,680	0,07	0,02	1,10	0,165	0,10
6,0	14,12	5,00	1,20	2	24	0,650	0,810	0,160	0,46	0,90	1,00	1,10	0,830	0,07	0,02	0,95	0,180	0,10
Расход Q = 0,5 м³/с																		
2,0	5,88	1,58	3,70	4	12	0,40	0,548	0,110	0,32	0,32	3,40	0,40	0,25	0,05	0,02	3,40	0,120	0,10
3,0	8,83	2,40	2,90	4	16	0,48	0,590	0,120	0,36	0,48	2,30	0,60	0,41	0,05	0,02	2,30	0,125	0,10
4,0	11,77	4,25	2,00	3	19	0,53	0,680	0,140	0,40	0,64	1,80	0,70	0,57	0,06	0,02	1,78	0,150	0,10
5,0	14,71	4,10	1,70	3	22	0,58	0,730	0,150	0,43	0,80	1,50	0,90	0,78	0,07	0,02	1,44	0,160	0,10
6,0	17,65	4,94	1,50	3	25	0,62	0,780	0,160	0,46	0,96	1,20	1,10	0,99	0,07	0,02	1,19	0,170	0,10
Расход Q = 0,6 м³/с																		
2,0	7,06	1,56	4,30	4	12	0,44	0,550	0,110	0,32	0,34	4,00	0,40	0,27	0,05	0,02	4,00	0,120	0,10
3,0	10,59	2,40	3,10	4	15	0,51	0,640	0,130	0,36	0,50	2,90	0,60	0,44	0,05	0,02	2,82	0,135	0,10
4,0	14,12	3,22	2,40	4	20	0,52	0,640	0,140	0,40	0,68	2,15	0,80	0,64	0,06	0,02	2,11	0,150	0,10
5,0	17,65	4,05	2,00	3	22	0,59	0,730	0,160	0,43	0,85	1,80	1,00	0,78	0,07	0,02	1,72	0,160	0,10
6,0	21,18	4,88	1,75	3	25	0,62	0,730	0,160	0,46	1,02	1,50	1,10	0,95	0,07	0,02	1,44	0,175	0,10

В царском подмосковном имении Измайлово, кроме других разных мельниц, примерно в это же время появилась стекольная мельница. Стоявшие на некоторых из них мельницы приводили в движение разнообразные устройства. Так, мельница Меленская на речке Измайловке обслуживала: 2 снасти, толчею о 10 пестах, окованных железом, с железными поддонками. Сохранилось описание одной из измайловских усадебных мельниц [10]: «на той же речке Измайловке мельница Виноградная, плотина каменная, насыпана землёю, около плотины перила каменные с ростесками, 23 спуска железных, слив каменный и мост отводной вымощен дубовым брусом; открылки забраны брёвны дубовыми: чрез слив мост дубовый наслан байдашным тёсом; плотина длиной 87 саж., шириной 12 саж., вышиной 3 саж. Пруд по мере в длину 590 саж. в ширину 103 саж.». Мельница Виноградная имела 2 водяных колеса, 2 сухих колеса, 2 жернова; в другом амбаре было 2 поставы: один «постав, жернов, другой постав со всякой мельничною снастью на ходу». Была «труба водяная, что на колёса». На Измайловской мельнице были 2 снасти на ходу. На Проянской мельнице 2 жернова. На Николаевской мельнице – 2 жернова на ходу. На Пехорской мельнице 4 жернова на ходу «и в том числе 2 жернова шириною по 1 1/2 аршина, толщиною по чети аршина; одне жернова шириною в 2 аршина без 3 вершка, 4 жернова шириною по 1 1/4 аршина, толщиною 2 вершка». На малой Пехорской мельнице было 2 жернова. Здесь были такие крупные установки, как толчея о 10 пестах, мукомольная мельница о 4 поставках и т. д.

Строительство и эксплуатация водяных мельниц были регламентированы отдельными параграфами «Соборного Уложения» – основного закона того времени [9]. Однако использование водной энергии для промышленных нужд в этот период имело в России эпизодический характер, в основном мельницы с водяными колёсами ограничивались переработкой сельскохозяйственной продукции. Применение водяных колес для нужд мануфактурного производства получило в разных странах, в том числе и в нашей стране, значительные масштабы уже в конце XVI – начале XVII веков. Каширский завод под Москвой использовал гидравлический каскад с четырьмя плотинами, обеспечивавший приведение в действие 12 водяных колес. К 1690 г. там уже образовалось семь заводов с 30 водяными колесами.

Во второй половине XVII в. в России работало четыре бумажных мельницы. Крепость в Путивле в 1654 г. снабжалась водой из водоёма: «вода скрытно накачивается колёсами из реки». Были созданы подмосковные металлургические и металлообрабатывающие тульские и каширские заводы: 4 Городищенских завода на р. Тулице (1632 г.), ядерный завод на р. Ваге,

Таблица П.1.4.2

Для верхненаливных колес

Напор	Напор над колесом	Зазор между кромкой колеса и нижним уровнем	Диаметр колеса	Глубина ковшей	Ширина колеса	Количество ободов	Расстояние между ковшами	Количество ковшей	Длина наружной перекрышки ковша	Длина ковша	Размеры подводящего лотка				Размеры выходного отверстия лотка		Толщина дна подводящего лотка	Зазоры между дном лотка и верхним краем колеса
											Слой воды в лотке	Минимальная высота стоков	Минимальная длина лотка	ширина	высота			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Расход $\bar{Q} = 0,2 \text{ м}^3/\text{с}$																		
3,5	0,42	0,08	3,0	0,25	1,60	3	0,392	24	0,098	0,50	0,355	0,50	1,30	1,30	0,11	0,05	0,015	
4,0	0,50	0,10	3,4	0,27	1,40	2	0,356	30	0,094	0,488	0,42	0,60	1,30	1,20	0,11	0,05	0,02	
5,0	0,60	0,10	4,3	0,29	1,20	2	0,365	37	0,091	0,456	0,52	0,70	1,00	1,00	0,11	0,05	0,02	
6,0	0,60	0,10	5,3	0,30	1,15	2	0,370	45	0,092	0,462	0,52	0,70	0,95	0,95	0,12	0,05	0,02	
Расход $\bar{Q} = 0,2 \text{ м}^3/\text{с}$																		
3,0	0,45	0,10	2,45	0,36	1,50	3	0,512	15	0,128	0,640	0,38	0,50	1,80	1,80	0,17	0,06	0,02	
4,0	0,40	0,10	3,5	0,30	2,0	3	0,423	26	0,106	0,529	0,33	0,50	1,75	1,75	0,13	0,06	0,02	
5,0	0,50	0,10	4,4	0,33	1,75	3	0,462	30	0,115	0,577	0,42	0,60	1,45	1,45	0,18	0,06	0,02	
Расход $\bar{Q} = 0,2 \text{ м}^3/\text{с}$																		
2,5	0,40	0,10	2,0	0,34	2,5	3	0,52	12	0,131	0,651	0,33	0,50	2,0	2,0	0,14	0,05	0,02	
3,0	0,45	0,10	2,45	0,36	2,2	3	0,51	15	0,128	0,638	0,38	0,50	1,9	1,9	0,14	0,05	0,02	
4,0	0,60	0,10	3,30	0,40	1,7	3	0,577	18	0,144	0,721	0,59	0,70	1,4	1,4	0,16	0,06	0,02	
5,0	0,75	0,10	4,15	0,43	1,50	3	0,620	21	0,155	0,775	0,68	0,80	1,1	1,1	0,17	0,07	0,02	
6,0	0,90	0,10	5,00	0,46	1,2	2	0,650	24	0,160	0,810	0,83	1,00	1,0	0,95	0,18	0,07	0,02	
Расход $\bar{Q} = 0,2 \text{ м}^3/\text{с}$																		

дубовые ж дощевые ворота, а к воротам приделана брусья ж дубовые, чем поднимают» (рис. 1.3). Вода из водосбросного пролёта текла либо каскадом (очевидно – по ступенчатой поверхности), либо сначала горизонтально (водослив с широким порогом), а затем по наклонному водоскату. Для опорожнения пруда устраивали «почвенную» трубу, которая перекрывалась специальным затвором (водоспуск).

Деревянные колёса на мельницах были преимущественно верхнего боя диаметром от 2,5 м (для воздухоулавливающих установок) до 5 м (для молотовых и сверлильных аппаратов). Во избежание замерзания воды около колес выстраивались из бревен предохранительные кожухи, а на самих колесах сверху делались покрышки «для водяного береженья, чтобы мимо колес вода не била».

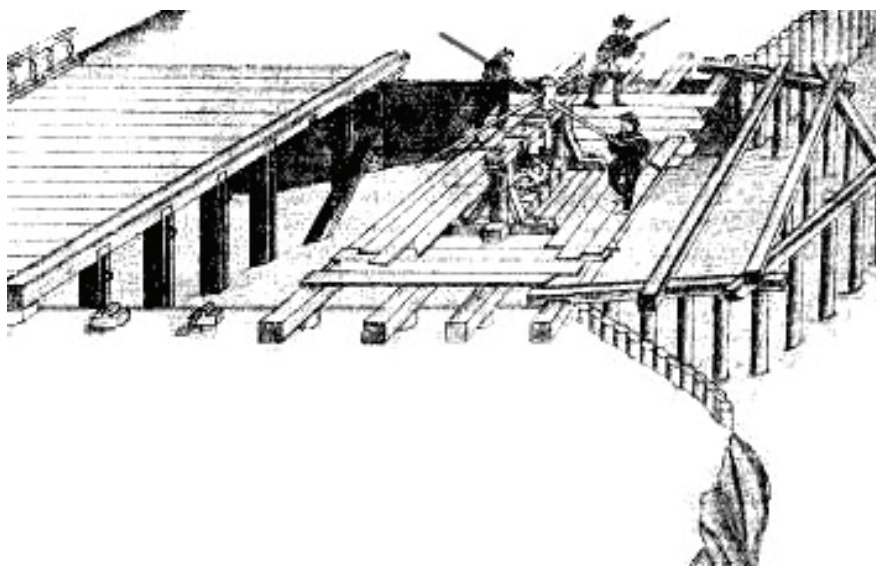


Рис. 1.3. Установка для открывания водоспуска, изобретенная в 30-х годах XVIII в. на Урале. «Новая инвенция для вынимания стойки вешняка во время большой воды, дабы она вода убиралась и стойки к скорому её проходу не мешали», 1735 г. ГПБ, Л. [10]

Колёса приводили в действие: воздухоулавливающие мехи, кричные молоты, установки для рассверливания пушек, сверления ружейных стволов и т.п. (рис. 1.4). Вода для них поступала по ларям – «воденым трубам», проложенным через плотину, в лотки (сначала в «большие лари», от которых затем отходили разветвления из «малых ларей»). Лари представляли собой дубовые, поддерживаемые деревянными сваями желоба, заделанные досками и законопаченные мхом для того, чтобы вода в холодное время не могла замерзнуть. Назначение ларей — отводить и распределять воду между отдельными водяными колесами у самого завода. Поэтому они делались у плотины широкими (до 14 м), а затем суживались. Последние и подводили воду к колесу. «Воденых труб» было от 1 до 6. В них вода поступала из верхних слоёв пруда.

1923 г. – введены 2- и 4-сортовые помолы с общим выходом 75 %.

1923 г. – введен стандарт на типы помолов и качество муки.

1923 г. – перед первой пятилеткой началась концентрация товарного мукомолья.

1928 г. – "Союзхлеб" - 484 мельницы, 36 тыс. т муки в сутки. 1930 г. - завершение концентрации мукомольного производства.

1932 г. – была реконструирована основная часть мельниц, значительно возросла производительность труда.

С 1938 г. начато производство мельниц на востоке страны. После Великой Отечественной войны началось восстановление и развитие мельничного хозяйства, возобновление строительства новых мельниц. Повсеместно идет реконструкция силового хозяйства, которое переводится на электрическую тягу. Внедряются: пневматический внутризаводской транспорт, бестарное хранение и перевозка муки, пакетформирующие машины.

Писцовые книги Яхонтова, Кайсарова и других переписчиков XVI-XVII вв. показывают, что сотни мутовок, колотовок (небольших мельниц), одноколёсных, двухколёсных и более сложных мельниц действовали на склонах Урала и в Сибири. Мутовчатые мельницы имели диаметр колеса около 1 1/2 сажени, редко 2 сажени. «Колесчатые» мельницы были диаметром 2...2 1/2 сажени и более. В гористых местностях на запруженных ручьях (Урал, Карпаты и т.п.) получили распространение мутовчатые мельницы, а на равнинных – колёсные мельницы на одно или несколько колёс. По конструкции мутовчатые мельницы были просты и примитивны, но в несколько раз дешевле обыкновенных мельниц (рис. 1.5). Вода по лотку подавалась в деревянный сруб, внутри которого находилось колесо. Обычно такие мельницы были однопоставные. Их производительность составляла от 32 до 160 кг зерна в сутки. Мельницы с большими водяными колесами обслуживали нередко 2 жернова, а иногда ещё толчею, сукнотёрку, как, например, под Ольшанском в 1693г. Насколько мельницы были распространены, видно хотя бы из того, что по одному Верхотурскому уезду в 1705 году числилось 435 мельниц.

Из-за стихийного характера создание мельничных плотин препятствовало судоходству и вызывало подтопление сухопутных дорог и бродов. В XVII в. это строительство стало настолько массовым, что для его упорядочения принимались специальные меры. В основном законе того времени – «Соборном Уложении» царя Алексея Михайловича (1649 г.) – указывалось: «А которыми реками суды ходят и на тех реках прудов новых и плотин и мельниц не делати, чтобы по тем рекам новыми прудами судового ходу не переняти. А буде кто на такой реке плотину и зделает: и ему у той плотины для судового ходу зделати ворота, чтобы теми ворота мочно было судом ходити».

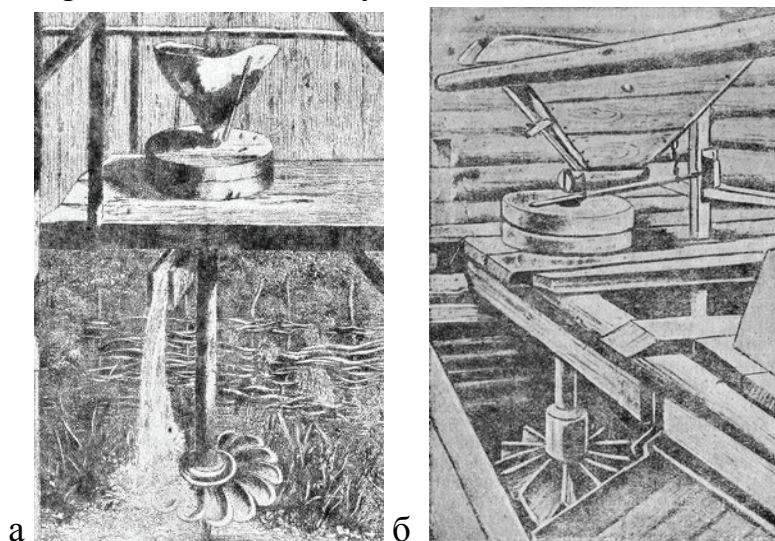


Рис. 1.5. **Мутовчатые мельницы:** а - XVII -XVIII вв. по В.В. Данилевскому [10]; б – внутренний интерьер мельницы-мутовки близ с. Косы на Урале

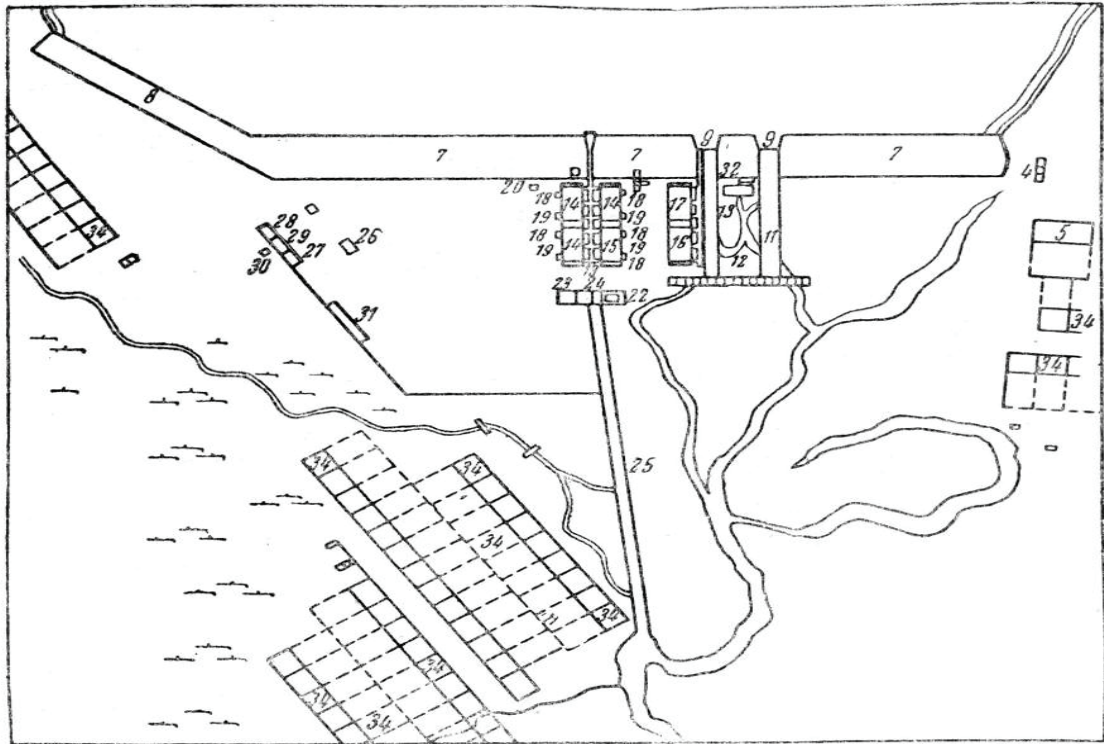


Рис. П.1.15. Схема Воткинского завода в 60-е гг. XVIII в. [10]: 4 – заводская контора; 5 – дом управляющего; 7, 8 – плотина; 9 – водоспуски; 11 – сливные мосты; 12 – мост над сливными мостами; 13 – лари; 14 и 16 – четыре молотовые фабрики; 15 – дощатая фабрика; 17 – строящаяся молотовая; 18 – кожаные водяные колёса; 19 – чуланы для инструментов; 25 – канал для отработанной воды; 20 - 24 и 26 - 31 – заводские постройки; 34 – дворы и огороды рабочих

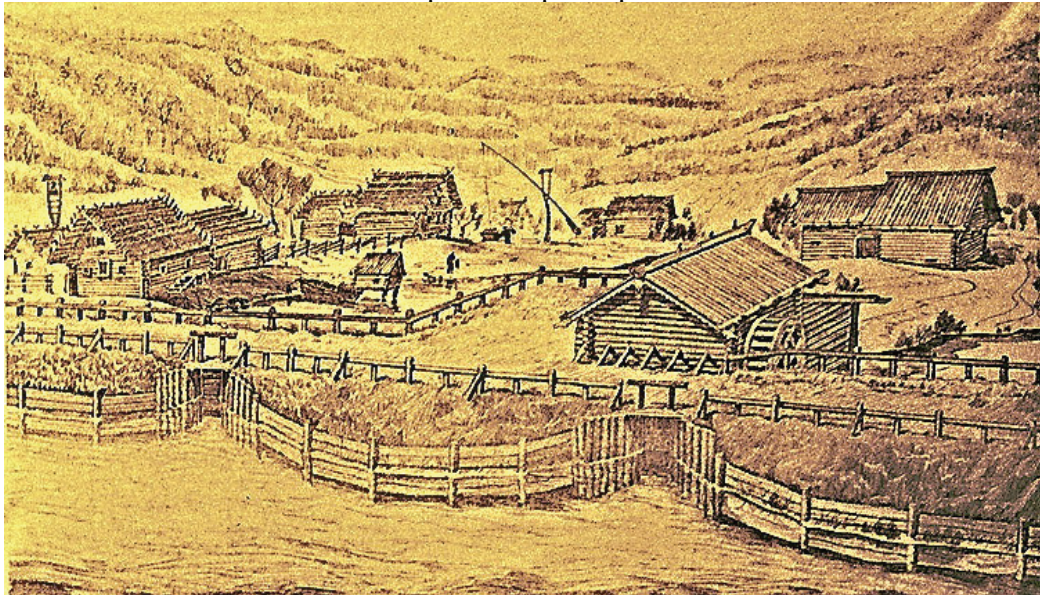


Рис. П.1.16. Мельница с плотиной на два створа в Мураново М.О. Эскизный проект реставрации

Помещики владели мельницами поменьше: одно- или двухпоставными, иногда двухфункциональными (мукомольными с толчеями). Нередки были случаи, когда небольшие мельницы на речках и ручьях принадлежали крестьянам. Правительство стимулировало разными льготами и поощрениями использование водяных колёс и издавало указы, рекомендовавшие «всем как помещикам, так и купечеству, крестьянам и всем прочим промышленникам стараться заблаговременно приуготовлять ручные пилы, а где удобно, водяные и ветреные пильные мельницы заводить» (за 1727, 1736, 1748, 1749, 1756 и др. годы). Впервые в XVIII в. в России находят широкое применение водяные двигатели для таких производств, как производство стекла, текстиль, лесопиление, производство пороха и масла и т.д. В 1727 г. числились 233 мануфактуры, использовавшие водяную энергию, в 1762 г. их было около 1 000, а к концу XVIII в.— около 3 000. Среди них стекольные заводы (первый пущен в эксплуатацию в 1634 г.), суконные мануфактуры (с 1650 г.), бумажные, шелкоткацкие, полотняные и пр. мельницы. В 1760 г. в Серпейске (около Калуги) Родион Глинков соорудил групповой привод от водяного колеса на «вододействующей» механической прядильне; в 1763 г. была устроена гидросиловая установка на ситценабивной фабрике.

Внедрением в практику стекольного производства водяных двигателей занимался М. В. Ломоносов. В Усть-Рудице в 1756 г. он соорудил плотину, механические агрегаты для нового производства и гидросиловую установку с тремя колёсами: «первое для двух рам пильных, чтобы пилить доски к фабричному строению и впредь для пристроек, починок и ящиков под материалы, второе колесо для машин, которыми молот, толочь и мешать материалы, в стекло потребные, и шлифовать мозаику, для которых кругов в мельнице два покои особливые, третьим колесом ходят жернова для молотья хлеба, на котором содержат фабричных людей». Одновременно М.В. Ломоносов делал опыты и изучал, «как текущая по наклонению вода течение свое ускоряет и какую силою бьет» [10]. Лесопильные вододействующие мельницы встречались в XVIII в. во всех районах страны, а бумажные были не только в Москве, Петербурге, но и в Ярославле, Калуге, Вологде, Брянске и т.д.

В 1787 г. в Московской губернии работают сотни водяных мельниц; в одном Можайском уезде их было 90. В 1803 г. в Московской губернии было 29 ветряных и 652 водяные мельницы. На последних имелось 1 559 поставов. Некоторые отличались крупными размерами: на реке Яузе было 4 мельницы с 17 поставами, на реке Наре в Серпухове работали 2 мельницы о 20 поставах [106].

тормозное колесо; 44- тормозные колодки; 45 – жолоб; 46 – штанги; 47 – горизонтальные валки; 48 – шкивы; 49 – канат рудоподъёмника; 50 – здание; 51 – рундук. Водоподъёмник Вознесенской шахты: 52 – вал с кривошипом; 53 – водяное колесо; 54 – шатун; 55 – тяга; 56 – ролики; 57 – полубалансиры; 58 – висячие штанги; 59 – тяги; 60 – насосы; 61 – полубалансир; 62 – тяга; 63 – ролики; 64 – ворот; 65 – тяга; 66 – два полубалансира; 67 – тяги; 68 – насосы. *Водоподъёмник и рудоподъёмник Вознесенской шахты*: 69 – вал с кривошипом; 70 – водяное колесо; 71 – шатун; 72 – тяга; 73 – ролики; 74 – полубалансиры; 75 – висячие штанги; 76 – тяги; 77 – насосы; 78 – штанги; 79 – балансиры; 80 – тяги; 81 – балансир; 82 – храповики; 83 – 84 – вал и барабан с зубчатым колесом; 85 – железные цепи (бесконечные с барабана 84 на барабан Е); 86 – направляющий барабан; 87 – сарай надшахтовый тѣсовый

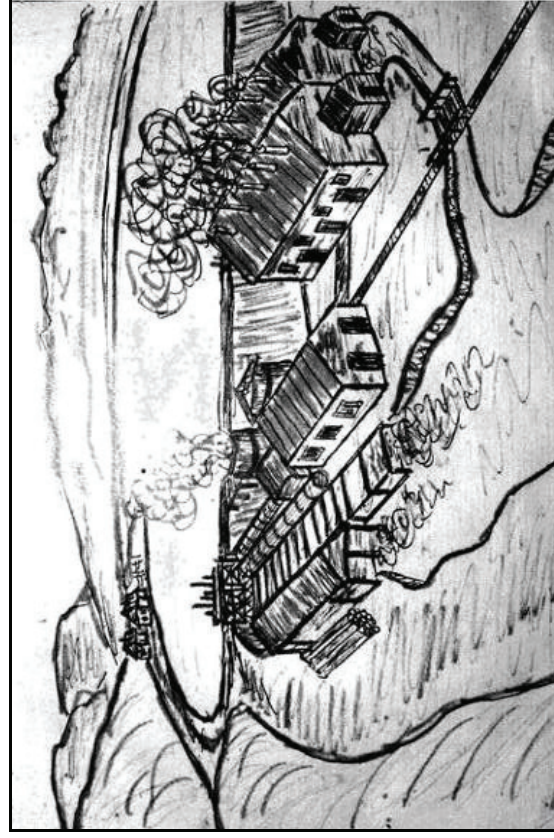


Рис. П1.13. Общий вид завода Молѣбка на р. Молебной с водяными колёсами (плотина высотой 10,5 м и длиной более 200м возведена в 1775 г., домна, две фабрики, пыльная, мушная однопоставная водяная мельница, кузница и др.), принадлежажавшего династии Демидовых в Пермской губернии: а - рисунок конца XIX в.; б – современное состояние плотины завода

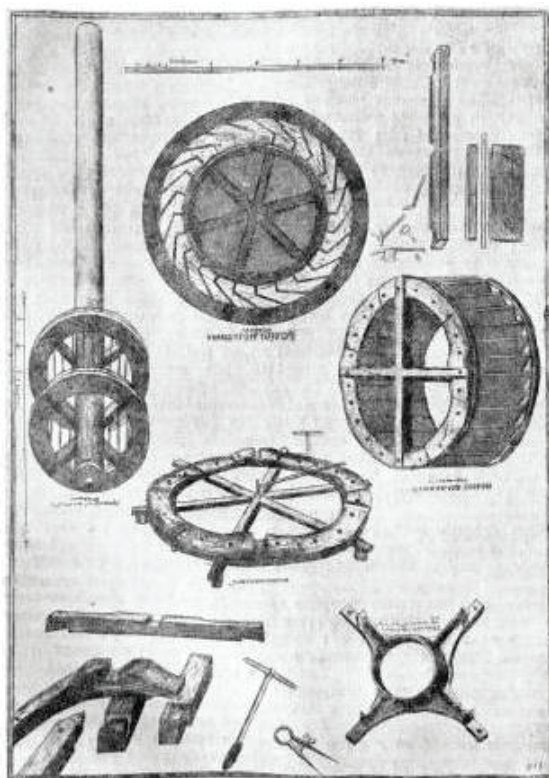


Рис. 1.7. Детали водяного колеса (В. де Геннин – «Абрисы», 1735 г.):

в центре «основание колеса», под ним – «колесо молотовое в профиль», правее – «прошпект колеса без лошки», а левее – «колесо молотовое в прошпект», вверху слева – «чугунная крестовина к колесу» [10]

Из-за совершенно различных условий работы ГТС в России того времени и за рубежом основные принципы гидротехнического строительства были разные. На Западе были распространены две основные компоновочные схемы мельничных гидроузлов: на излучине больших рек устраивали канал, соединяющий два участка реки (рис. 1.8,а), либо строили заводские плотины, перегораживающие реку. В последнем случае вода, подпёртая плотиной, по каналу, перекрываемому щитовым затвором, подавалась к мельничным колёсам (рис. 1.8,б).

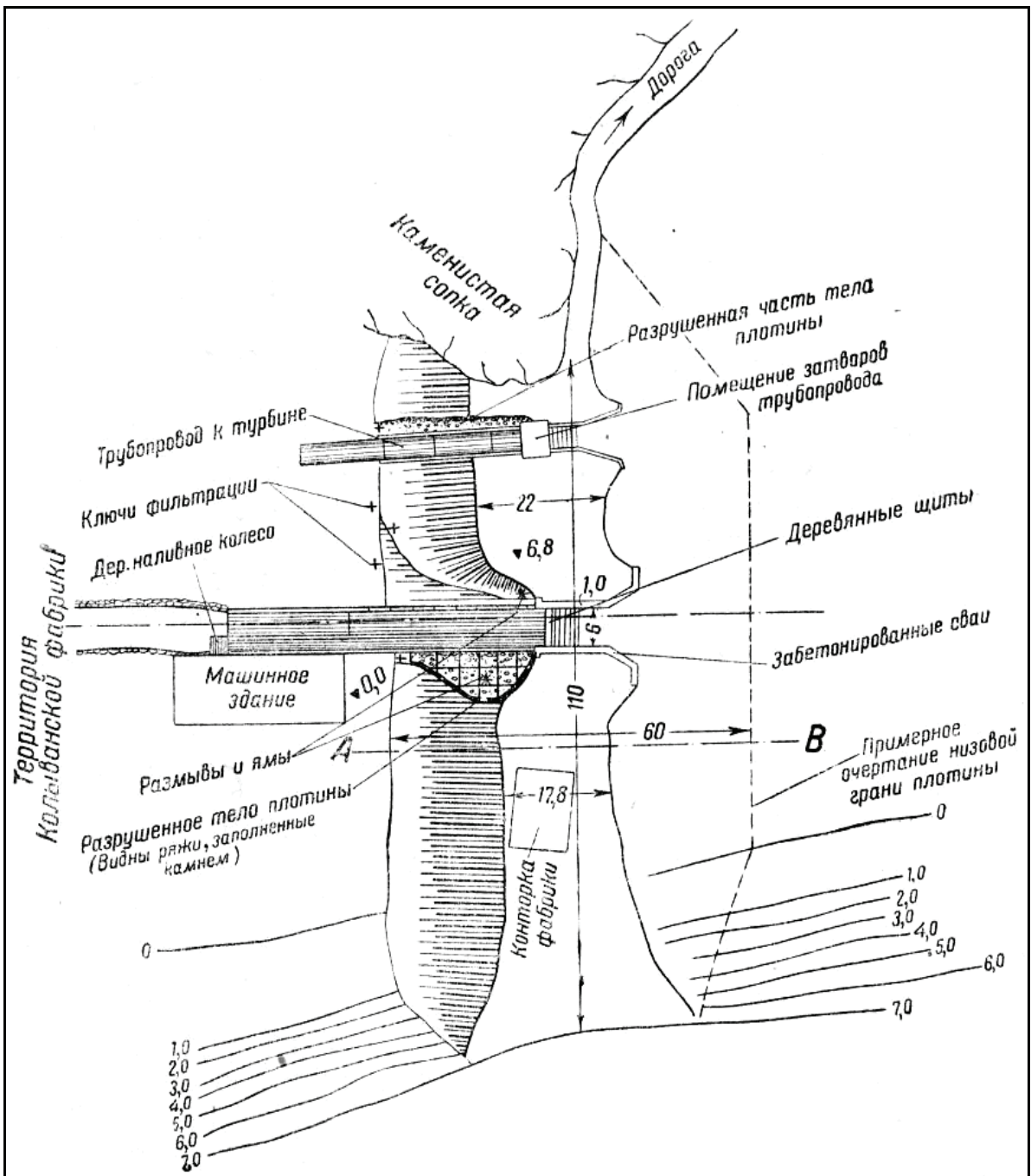


Рис. П1.11. План Колыванской плотины на р. Белая на Алтае (1939 г.) [10]

употребительны». На Уктусском заводе Михаэлс смог построить только одну плотину «да и тое плотину по постройке прорвало». «В Германии...таких плотин, как здесь в России есть, не делаетца» [10].

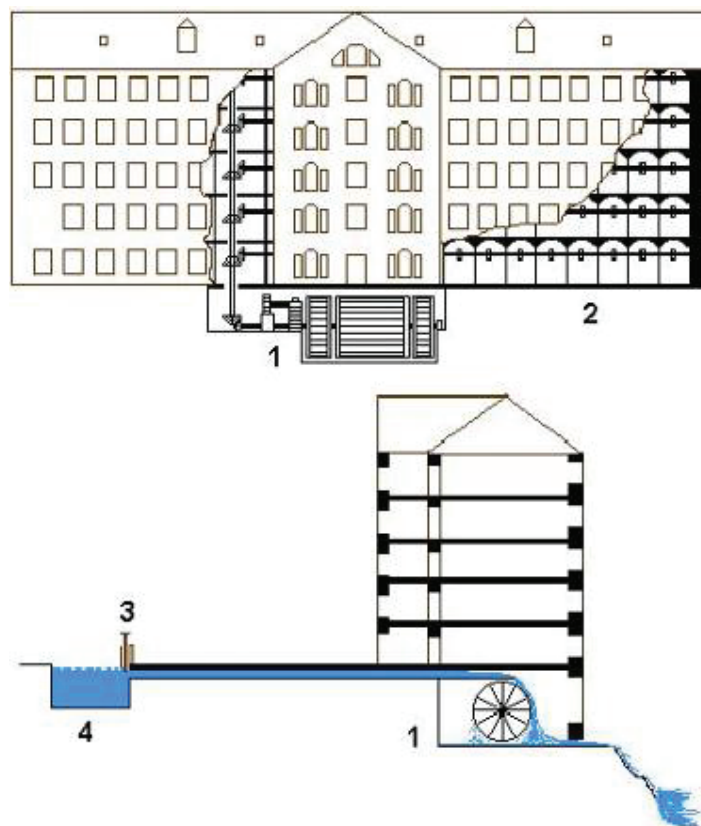


Рис. 1.9. Схема текстильной фабрики «New Lanark» (Шотландия, 1789 г.), которая утилизировала энергию одного водяного колеса: 1 – овершот колесо; 2 – элеватор; 3 – ворот шлюза; 4 – мельничный канал

В первой половине XVIII в. заводские предприятия с водяными колёсами, в том числе и горнозаводские, возводились по плотинным схемам (П1.2) на малых несудоходных речках с небольшими расходами. Все ГТС располагались сконцентрированно в одном гидроузле. Плотины сооружались на поймах с достаточно высокими берегами (10...12 м) и небольшим падением реки, так, чтобы в верхнем бьефе создать как можно большее по глубине и площади водохранилище. Значительная глубина водоёма должна была гарантировать его от промерзания. Поскольку использовались исключительно верхнебойные (наливные) колёса, то необходимо было обеспечить при этом достаточный для них напор. Безопасность плотины при ледовых воздействиях обеспечивалась созданием медленного течения в верхнем бьефе и таянием льда в нём. В качестве защиты от обмерзания водяных колёс и их кожухов зимой использовалось быстрое течение сравнительно тёплой воды из глубинных слоёв водохранилища. Зимой их не обогревали.

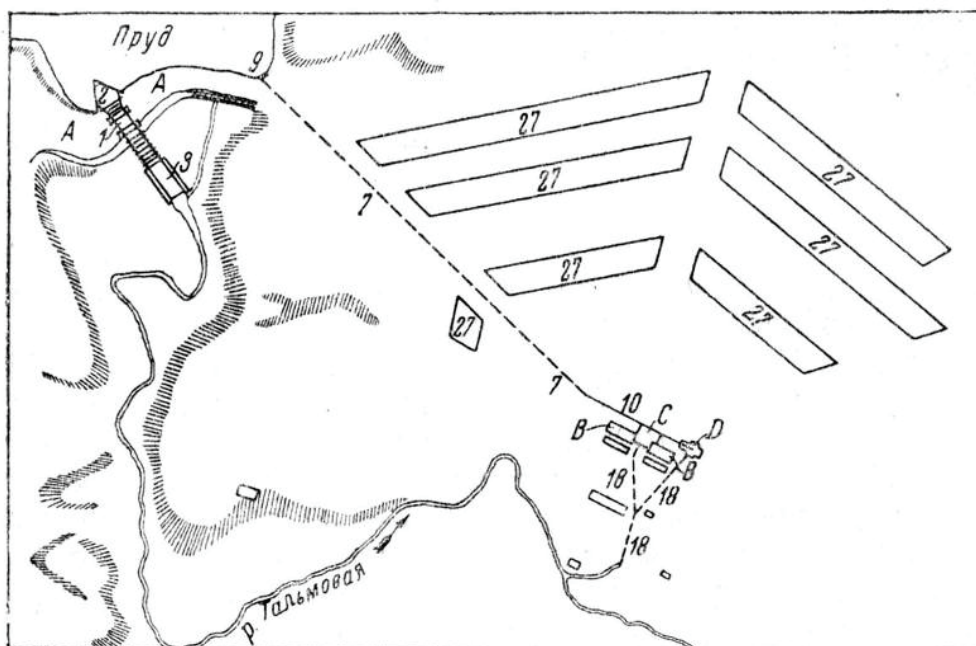


Рис. П1.8. Схематический план гидроузла Гавриловского завода в 1798 г. [10]: А – плотина; 1 – водоспуск; 2 – вешняный двор; 3 – сливной мост; 7 – штольня, подающая воду к гидравлическим колёсам; 9 – запор для пуска воды в деривационную штольню; 10 – ларь; В – завод; С – воздуходувная установка; D – мусерная толчея; 18 – каналы для отработавшей воды; 27 – заводской посёлок

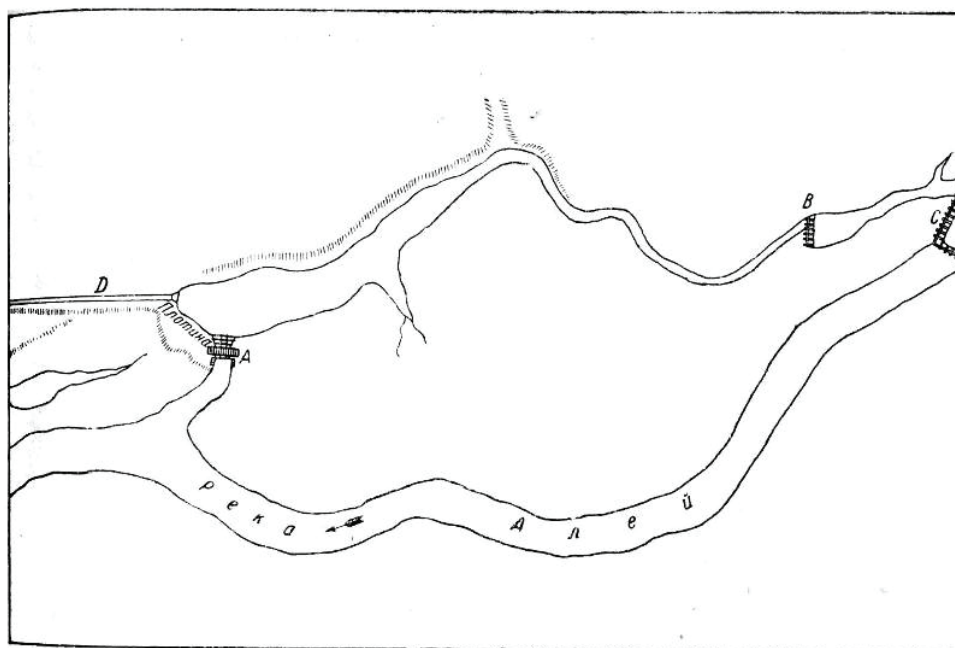


Рис. П1.9. Схема гидроузла Алейского завода по плану 1798 г. [10]: А – водослив (водосброс); В и С – «езы» (сланцевые водоподъёмные плотины); D – деривационный канал

Для защиты внешних прорезов от льда устраивали большой «мост на сваях» (рис. 1.11). Все эти меры позволяли бороться с катастрофическими последствиями паводков, часто разрушавших гидроузлы.

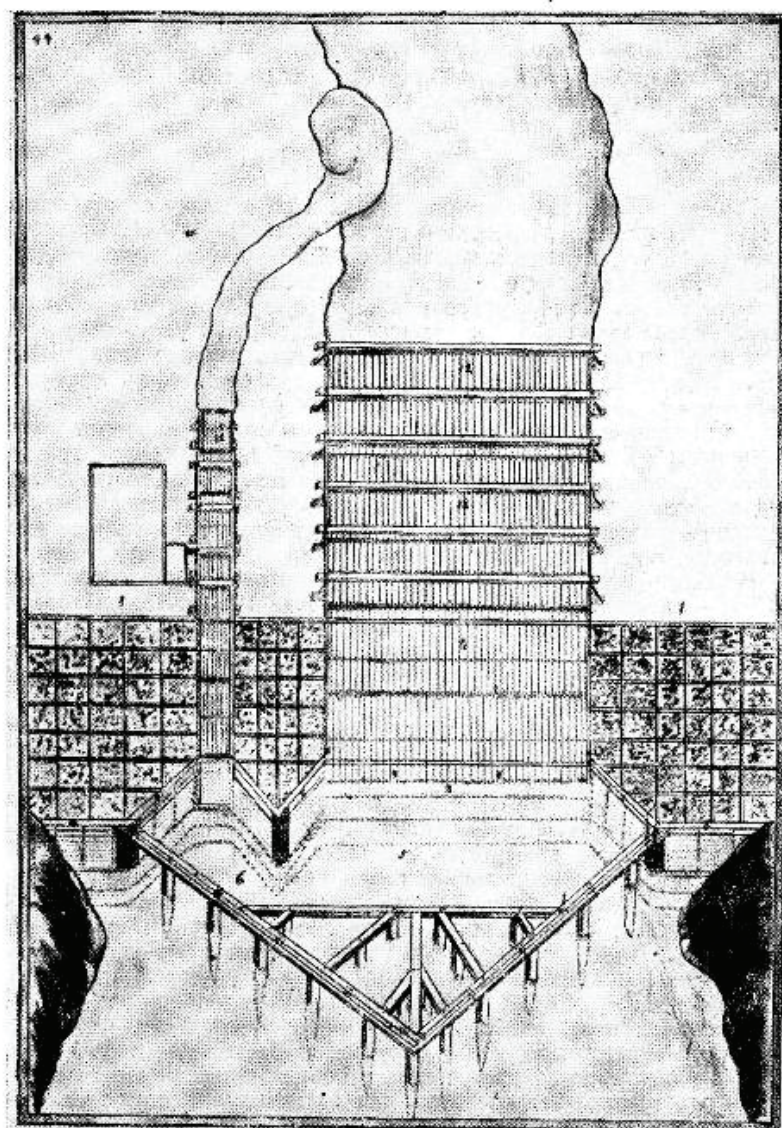


Рис. 1.11. План плотины Каменского завода в 30-е гг. XVIII в (В. де Геннин, «Абрисы», 1735 г.) [10]

Плотинная компоновка мельничных гидроузлов для заводских гидроустановок того времени имела несколько недостатков. Необходимость устройства завода непосредственно у гидросиловой установки, т.е. около плотины подвергало опасности его разрушения в случае перелива воды через гребень плотины, её прорыва или у берегов в обход плотины, либо при разрушении самой плотины. За счёт фильтрации примыкающая к плотине территория, в том числе и заводская, заболачивалась. Кроме этого, для работы наливных колёс требовалась подача воды с высоких отметок, что заставляло делать водоём глубоким, со значительным запасом воды (мёртвого объёма).

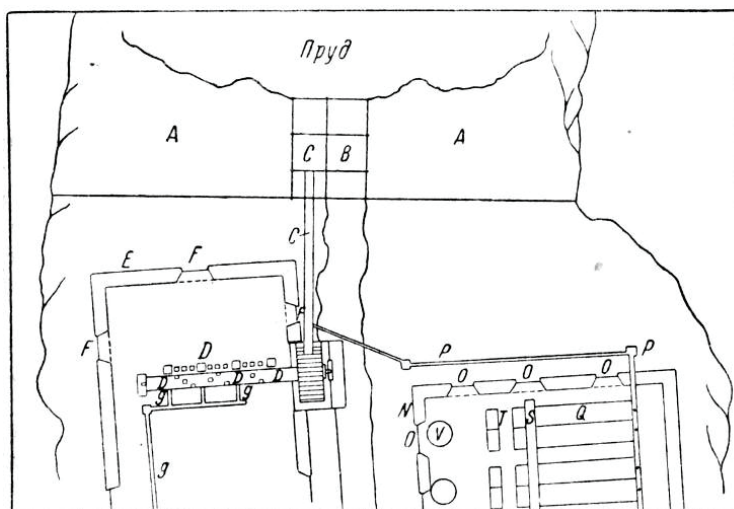


Рис. П1.5. Плотинная схема ГТС первого похверка (рудотолчейной и промывальной установки) на Змеиногорском руднике по чертежу 1748 г. [10]: А – плотина; В – водоспуск; С – рабочий прорез плотины; D – толчея и водяное колесо; Е – стены толчейной «фабрики»; F – окна в толчейной «фабрике»; g – ларь, подающий воду на промывку руд; N – стены промывальной «фабрики»; O – окна в промывальной «фабрике»; P – ларь, подающий воду к ящикам для промывки руд; Q, T – ящики для промывки руды; - желоб для стока отработавшей воды; V – чан для промывки шлаков

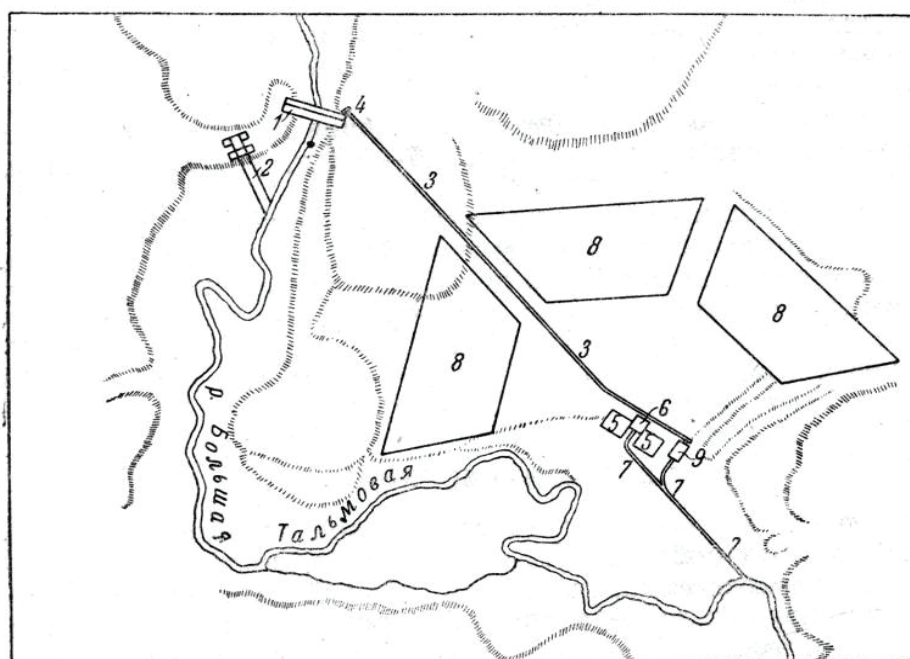


Рис. П1.6. Проект Гавриловского завода, 1792 г.: 1 – плотина; 2 – водоспуск; 3 – деривационный канал; 4 – запор у головы канала; 5 – завод; 6 – воздуходушная установка; 7 – каналы для сброса отработанной воды; 8 – поселение; 9 – пильная мельница [10]

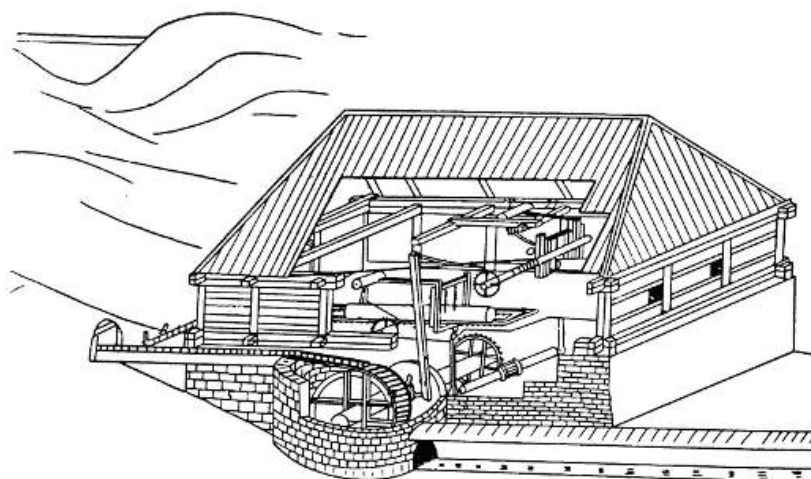


Рис. 1.12. "Пильная" мельница на Змеиногорском руднике, возведённая под руководством И. И. Ползунова (1754 г.)

В 1763-1765 гг. русский изобретатель К. Д. Фролов на рудниках Алтая на берегах рек Змеевки и Корбалихи построил комплексы вододействующих установок, состоявших из нескольких колес. На р. Корбалихе, соорудив облегчённую плотину, он направил её воды в длинный деривационный канал, вдоль которого построил три предприятия (рис. 1.13).

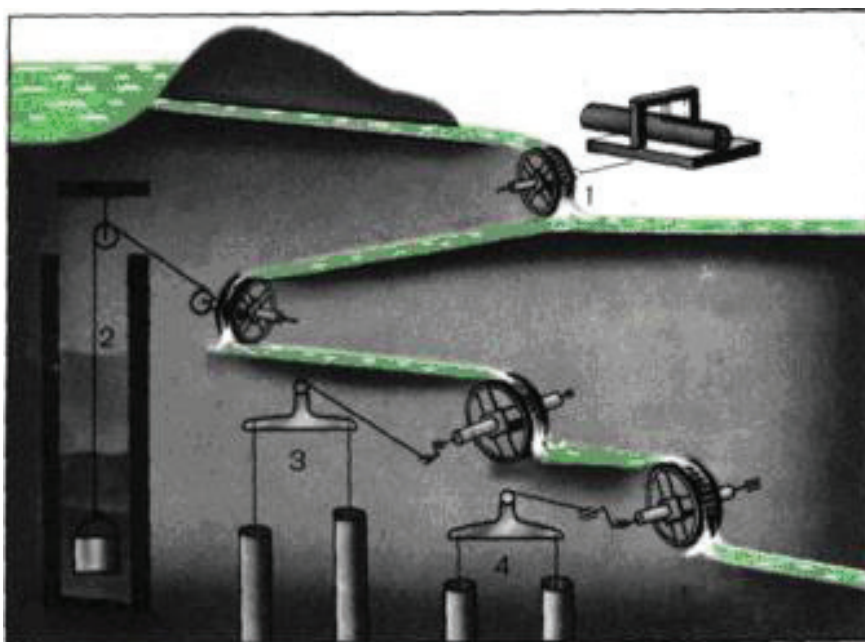


Рис. 1.13. Схема одной из гидроустановок, построенных К. Д. Фроловым (1770-1780 гг.) из нескольких водяных колёс различного диаметра:

1 – лесопилка; 2 – рудоподъёмник; 3, 4 – насосы для откачки воды

Вода последовательно приводила в действие их водяные колёса. Затем водный поток по каналу сбрасывался в нижнем бьефе гидроузла много ниже головного сооружения плотины. На Змеиногорском руднике в подземной

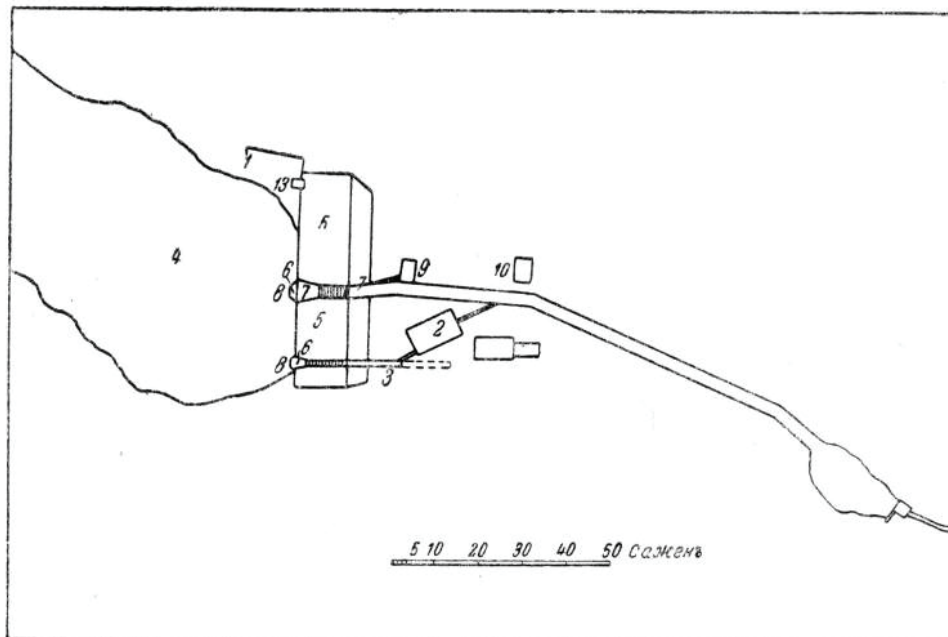


Рис. П1.2. **Колыванский завод в 90-е гг. XIII в. [10]:** 1 – заплот; 2 – шлифовальная мельница; 3 – «капитальный ларь»; 4 – часть пруда; 5 – плотина; 6 – порог плотины; 7 – водоспуск и сливной мост; 8 – вешняный двор; 9 – пильная мельница; 10 – кузница; 13 – конюшня

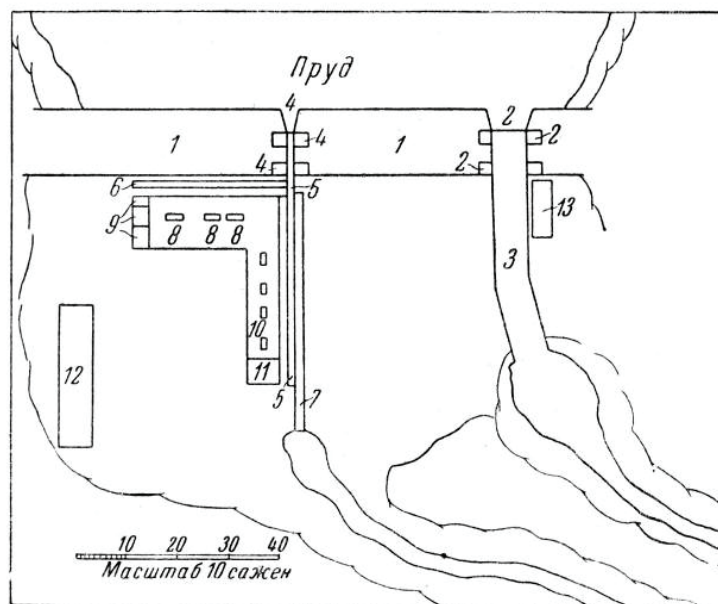


Рис. П1.3. **Компоновка основных ГТС Нижнесузунского завода на р. Сузуне, 1765 г. [10]:** 1 – плотина; 2 – водоспуск и ряжи; 3 – сливной пол; 4 – ларевый прорез и ряжи; 5 – большой ларь; 6 – малый ларь к плавильной фабрике; 7 – канал для стока отработанной воды; 8 – плавильная фабрика; 9 – сарай; 10 – гармахерская фабрика; 11 – мусерная толчея; 12 – обжигальные печи; 13 – пильная мельница

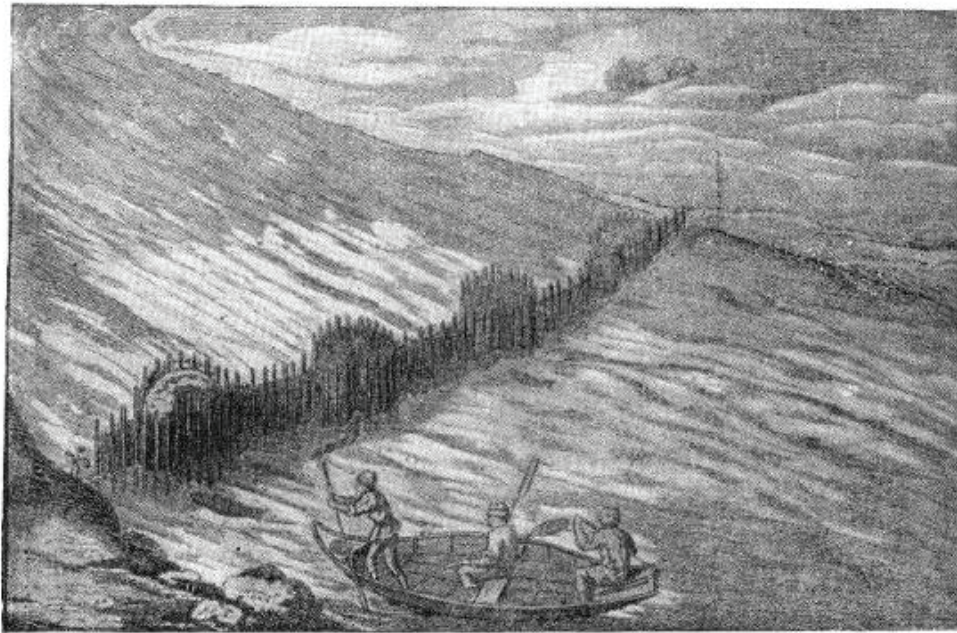


Рис. 1.14. «Ез» (яз)- ГТС для ловли рыбы, широко применявшееся со времён древней Руси. Гравюра XVIII в. [10]

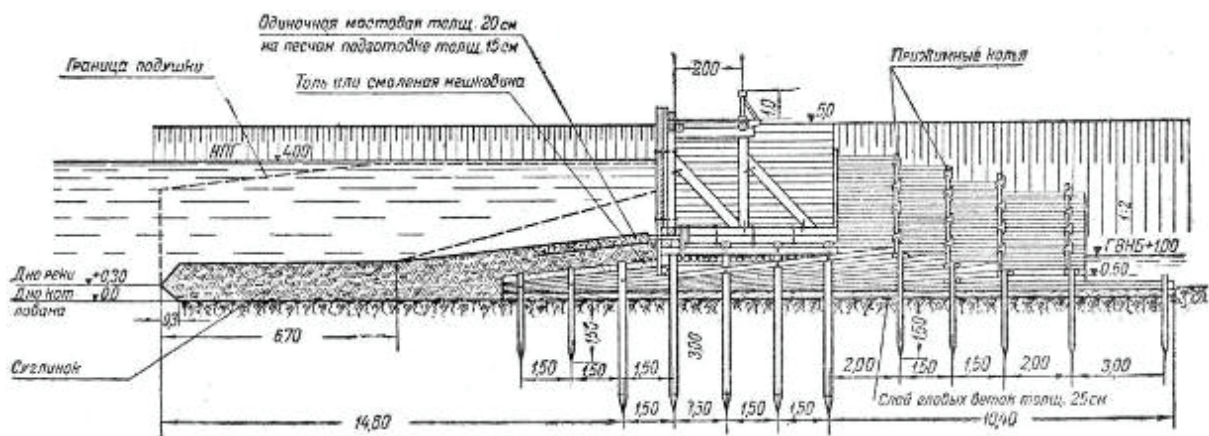


Рис. 1.15. Стланевая плотина с щитовыми стойками

Для подачи воды к колёсам выкапывали у одного конца плотины ров или устраивали «ларь по вбитым и досками обшитыми сваями». Прорез для ларя делали в таком месте, где течение было бы вдоль плотины и к берегу. В случае рыбных прудов или при лесосплавной плотине рвы и лари не строили. Ров обшивали досками. Для защиты от охлаждения и промерзания надо рвом делали перекладины: зимой на них накладывали хворост.

Оригинальную стланевую плотину «цыганского» типа (рис. 1.16) рекомендовалось делать высотой 3...6 аршин (2,1...4,2 м). Для сброса воды

1 фунт = 32 лота = 96 золотников = 453,6 граммов = 0,4536 кг = 16 унция = 0,071 стоун;

1 пуд = 40 фунтов = 3840 золотников = 16,380496 кг;

1 лот = 3 золотника = 12,797263 граммов;

1 золотник = 96 долей = 4,2657543 грамма;

1 доля = 0,00010850694 фунта = 44,434940 миллиграмма;

1 стоун = 6,35 кг = 14 фунтов.

Давление

1 ньютон (Н/м²) = 1 паскаль (Па) = 10⁶бар = 9,87.10⁻⁸ атм = 1,45.10⁻⁴ фунт-сила на кв. дюйм = 0,02089 фунт-сила на кв. фут = 1,02.10⁻⁴ м вод.ст =

3,35.10⁻⁴ фут вод.ст;

1 бар (bar) = 100000 Н/м² = 0,9869 атм = 14,504 фунт-сила на кв. дюйм = 2089 фунт-сила на кв.фут = 10,2 м вод. ст = 33,5 фут вод. ст;

1 техническая атмосфера (ат) = 1 кгс/см² = 98070 Н/м² = 0,9807 бар = 0,96784 атм = 14,223 фунт-сила на кв.дюйм = 2048 фунт-сила на кв.фут = 10 м вод.ст = 32,8 фут вод.ст;

1 нормальная атмосфера (атм) = 101300 Па = 1,013 бар = 1,033 ат = 14,7 фунт-сила на кв.дюйм = 2120 фунт-сила на кв. фут = 10,33 м вод.ст = 33,9 фут вод.ст;

1 фунт-сила/дюйм² (psi) = 6895 Н/м² = 0,06895 бар = 0,07031 кгс/см² = 0,06805 атм. = 144 фунт-сила на кв.фут = 0,703 м вод.ст = 2,31 фут вод.ст;

1 фунт-сила/фут² (psf) = 47,9 Па = 4,79.10⁻⁴ бар = 4,88.10⁻⁴ ат = 4,73.10⁻⁴ атм = 6,94. 10⁻³ фунт-сила на кв.дюйм = 4,88.10⁻³ м вод.ст = 0,016 фут вод.ст;

1 мм вод.ст = 9,81 Па (Н/м²) = 9,81.10⁻⁵ бар = 1.10⁻⁴ ат = 9,68.10⁻⁵ атм = 1,42.10⁻³ фунт-сила/дюйм² = 0,205 фунт-сила/фут² = 0,001 м вод.ст = 3,28.10⁻³фут вод.ст;

1 м вод. ст = 0,1 ат (кгс/см²) = 0,0968 атм;

1 фут вод.ст = 2990 Н/м² = 0,0299 бар = 0,0305 ат = 0,0295 атм = 0,434 фунт-сила/дюйм² = 62,4 фунт-сила/фут² = 0,305 м вод.ст.

Мощность

1 лошадиная сила (л.с.) = 75 кг м/с = 0,736 кВт = 15 пудофудов.

1 Вт = 1 Дж/с = 1 кг.м²/с³ = 0,102 кгс.м/с = 1,36 х10⁻³ л.с.

1 кВт = 1000 Вт = 1,36 л.с.

Расход

1 м³/с = 3600 м³/ч = 3,6 .10⁶ л/ч = 1000 л/с = 35,31 куб.фут/с = 2118,8 куб.фут/мин = 1,587.10⁴ галлон в минуту (США);

1 л/с = 1 дм³/с = 0,001 м³/с = 3,6 м³/ч = 3600 л/ч = 3,531.10⁻² куб.фут/с = 2,1188 куб.фут/мин = 15,8502 галлон в минуту (США);

1 куб. фут/с (ft³/s) = 2,832.10⁻² м³/с = 102 м³/ч = 28,3179 л/с = 448,9 галлон в минуту (США);

1 галлон в минуту (США) = 6,302.10⁻⁵ м³/с = 0,06309 л/с = 2,227.10⁻³ куб.фут/с.

скрыни с затворами вода текла в «скок» или в жёлоб и на колесо. Причём менее устойчивые крестьянские плотины не разрешалось строить выше заводских. Поскольку, как писал англичанин Линг Рот в 1878 г., крестьянские «плотины поперёк реки представляют грубую смесь всякой-всячины – хвороста, ветвей, переслоенных соломой, навозом, торфом и глинистой землёю; такие плотины не выстаивают долго; их необходимо исправлять, так как перегнивает хворост и т.д., будучи сложен параллельно течению, позволяет воде незаметно просачиваться, по всей ширине плотины. Таким образом, образуется брешь, а в следующем году большая часть плотины уносится водою».

В теле грунтовой плотины оставляли **прорезы**: ларевый (рабочий) и вешняные (один или два) – водоспуски. Лари иногда устраивали и при водоспусках. При головах прорезов ставили «свинки», представляющие собой ряжи, туго набитые глиной до основания (например, Воткинский гидроузел, где работало до 70-ти водяных колёс при напоре на заводском пруду 3,72 м, рис. П1.15). Для укрепления прорезов на дно укладывали «слань или ряд брёвен и слой глины». Часто сланевые уступы пригружали шлаком.

Иногда при постройке плотины устраивали по всей длине **ряжи с обеих сторон** (рис. 1.17,а) (Екатеринбургский гидроузел). Ряжи входили в тело плотины на 6...10 м. Нижние венцы ряжей устанавливали на сваях, забитых на 2 м одна от другой. Наружные скошенные стенки ряжей рубили на шпунтах (рис. 1.17,б), прокладывая мох. Со стороны верхнего бьефа ряжи тщательно забивали глиной, а со стороны нижнего – имевшейся на месте строительства землёй. Промежутки между брёвнами в боковых стенках ряжей также забивали глиной. Концы плотины врезали в берега поймы на 8...10 м. Для защиты глиняного тела плотины со стороны пруда укладывали дёрн «наискось ряда три или четыре», использовали облицовку досками и засыпку шлаком.

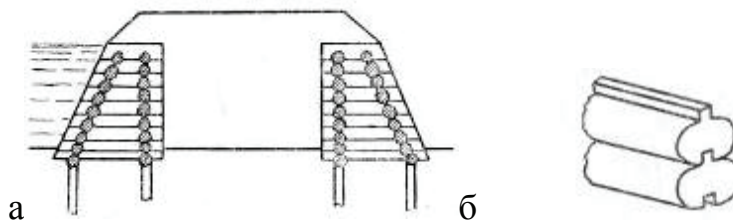


Рис. 1.17. Плотина с ряжами по всей её длине с обеих сторон: а – поперечное сечение плотины; б – рубка ряжей на шпунт

В некоторых плотинах (Омская – рис. 1.18 и Каменская) тело плотины **целиком** состояло из **ряжей** (рис. 1.19). Поскольку при такой конструкции плотины велика вероятность вымыва глины из ряжей и быстрое разрушение всего напорного фронта, то ещё в XVIII в. было принято целесообразным

116. Черных, О.Н. Оценка безопасности грунтовых подпорных сооружений: уч. пособие / О.Н. Черных, В.И. Волков, В.И. Алтунин. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2016. - 75 с.

117. Волков, В.И. Проектирование сооружений гидроузла с грунтовой плотинной: уч. пособие / В.И. Волков, А.Г. Журавлёва, О.Н. Черных. М.: МГУП, 2007. – 246 с.

стойки и запоры (рис. 1.21). Для защиты прорезов от обвала грунта откосов грунтовой части плотины устраивали устои – «свинки» (рис. 1.20).

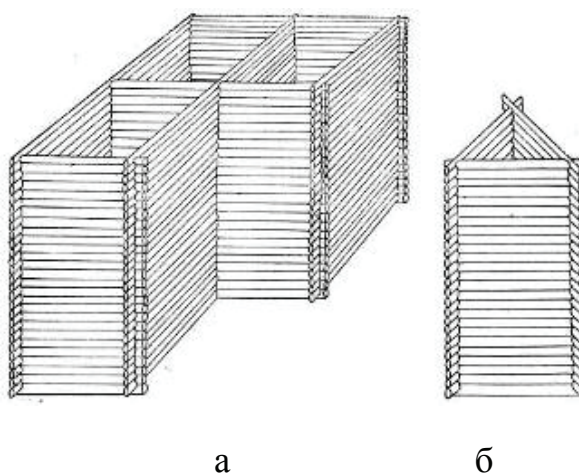


Рис. 1.20. **Срубные конструкции:** а – кося свинка, состоящая из двух срубов; б – нос среднего быка, установленного посредине внешнего прореза Златоустовской плотины [10]

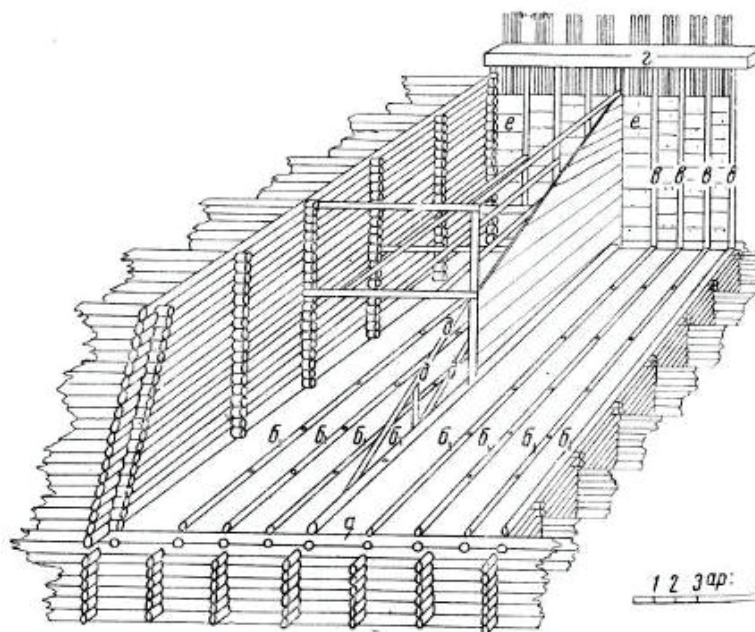


Рис. 1.21. **Стекло (часть прореза, заключающаяся между быками)** [10]: а – мост, б – бычки; в – коренные стойки; г – «красный брус»; д – брусья-упоры; е – «вешняки» и «запоры»

Наибольшее внимание при строительстве уделялось выполнению прорезов для водоспусков, водосливов и водозабора, являющихся самыми ответственными местами плотинного гидроузла, особенно в связи с борьбой с фильтрацией (рис. 1.22).

Для этого использовали шпунты, глиняные набойки, прокладки из просмолённых сукна и кошмы и т.д. Перед прорезами устраивали понурные мосты из досок. Сруб со стороны прорезов забивали досками. Для подъёма

87. Мелиоративная энциклопедия / Б. С. Маслов [и др.]. - М.: ФГНУ «Роинформагротех», 2003. - Т. 1 - 672 с.
88. Боровков, В.С. Опыт классификации низконапорных гидравлических двигателей / В.С. Боровков, В.В. Волшаник, Г.В. Орехов. «Малая энергетика», 2005, №1-2. – С. 28-38.
89. Виргинский В.С. Строительство вододействующих устройств на Алтае в XVIII веке/ В.С. Виргинский, Н.Я. Савельев. – М.: Машгиз, 1955. – 166 с.
90. Волшаник, В.В. Обоснование применения термина «местная энергетика» / В.В. Волшаник. «Гидротехн. стр-во». - 2002, №7. – С. 48-49.
91. Данилевский, В.В. Русская техника / В.В. Данилевский. – Лениздат, 1997. Леноблиздат, 1948.
92. Нератов, А. Гидравлические колёса / А. Нератов. «Учёные записки Казанского университета». Кн. 3. – Казань, 1841.
93. Пономарёв, Н.А. История техники мукомольного и крупяного производства. Ч.1. Первобытнообщинный и рабовладельческий строй / Н.А. Пономарёв. Под ред. А.Я. Брюсова. – М.: Заготиздат, 1955. – 132 с.
94. Рожков, В.И. Краткий обзор гидравлической системы, употребляемой на уральских заводах / В.И. Рожков. «Горный журнал», 1848.
95. Рожков, В.И. Описание турбин, устроенных в Алапаевских заводах / В.И. Рожков, «Гонный журнал», 1842, кн. VII. – С. 7, 16-18.
96. Щапов, Н.М. Упрощённая водяная турбина / Н.М. Щапов, И.В. Котенев. – Наркомземиздат, 1943.
97. Александров, П. Устройство мельниц водяных, ветряных, конных. / П. Александров. - 1911.
98. Галанин, А.В. Энергетика древней Руси // Вселенная живая [Электронный ресурс] – Владивосток, 2013. Адрес доступа: <http://ukhtoma.ru/plotina1.html>.
99. Атаева, Н.А. Использование энергии ветра и рек Рязанской (губернии) области в XIX-XX вв. (Экономико-географический аспект): Автореф. дис. Канд. техн. наук: 25.00.24 – Рязань: 2004. – 24 с.
100. Юренков, В.Н. Методика расчёта обтекания лопасти водяного колеса / В.Н. Юренков, В.М. Иванов, Г.О. Клейн, А.А. Блинов, Т.Ю. Родивилина, П.В. Иванова // Вестник АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – 2006. №2. С. 143-150.
101. Chizhiumov S.D., Kamenskih I.V. The Models of Sea Waves Energy Converters // The Tenth ISOPE Pacific-Asia Offshore Mechanics Symposium (PACOMS 2012), Vladivostok, Russia, October 3-5, 2012. ISSN: 1946-004X - С. 16-21.

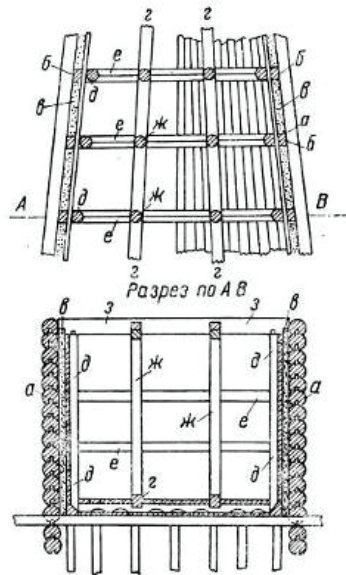


Рис. 1.23. **Схема водяного двора:** а – стенка ряжа; б – мяготные стойки; в – глина; г – лежащие брусья; д – прислонные стойки; е – распорки; ж – распорные стойки; з – поперечные брусья

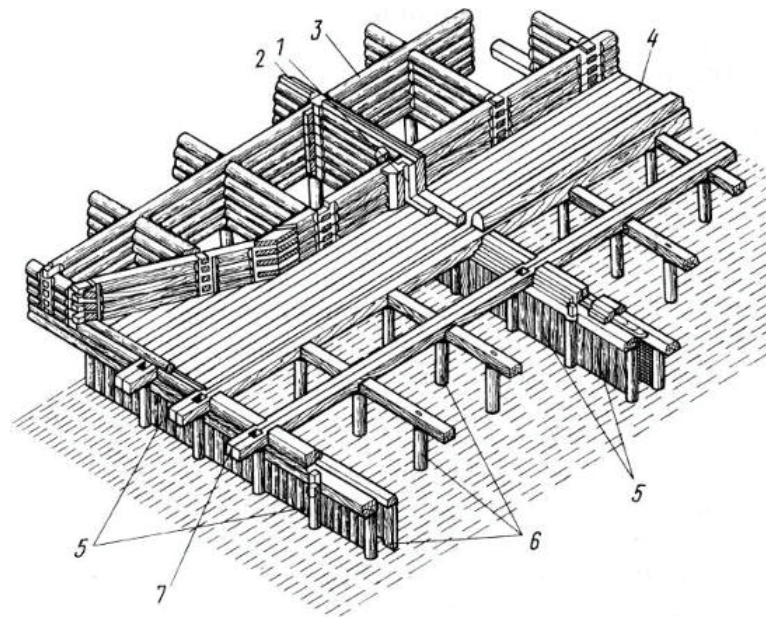


Рис. 1.24. **Свайный флотбет ряжевой плотины [70]:** 1 – паз для щита; 2 – шпунтовый простенок; 3 – ряжевый береговой устой; 4 – пол водобоя; 5 – шпунтовые стенки; 6 – маячные сваи; 7 – связывающий продольный брус

Местоположение основных частей прореза хорошо прослеживается на плане, который разбивали при строительстве при помощи кольев на местности (рис. 1.25) [11]. Водобойный мост, формировавшийся ларевым тёсом поверх ряжевых клеток, набитых глиной, назывался «мёртвым».

В голове водоспусков устраивали внешняные двory из свай, забитых в один-два ряда на расстоянии полутора аршина одна от другой (рис. 1.26).

58. Зотов, Н.К. Общедоступные водяные двигатели, деревянные водяные колёса / Н.К. Зотов, А.К. Зотов. 1926.
59. Рождественский, Н.Г. Водяные колёса / Н.Г. Рождественский. – М.: Местпромиздат, 1944.
60. Зотов, Н.К. Сельские водяные мельницы / Н.К. Зотов. – М.- Л.: Государственное издательство Образцовая типография, 1927.
61. Каофенгофер, А. Подробное изъяснение о колесах в водяных мельницах и о внутреннем строении пильных мельниц с десятью листами / А. Каофенгофер. – Курск.1793.
62. Штурм, Леонард Кристоф. Совершенное описание строения мельниц / Лонард Кристоф Штурм. Пер. с нем. на рус. яз. по 4-му Аугсбургскому 1778 г. изд. Антон Тейльс Б.М. 1782 г., 54 стр. с илл., 50 л. чертежей.
63. Василевич, В. Устройство крестьянской мельницы о двух поставах и сукрневалки / В. Василевич. – СПб: Изд-во Сухова, 1908. - 36 с.
64. Писарев, В.В. Общепонятное руководство к устройству мукомольных мельниц, приводимых в движение водою и силою животных / В.В. Писарев. Ч.1 и 2. – СПб.: 1860.
65. Новгородский, М.П. Мельницы. Общепонятное руководство к устройству мукомольных мельниц водяных, ветряных, конных, водовых и ручных / М.П. Новгородский, Губинский Б.Г. – Спб.; - 81 с.
66. Евстигнеев. Мельник-механик. Свод доступных практических применений живых, паровых и водяных движетелей к промышленной сельскохозяйственной деятельности в России / Евстигнеев. - М.: 1874. - 136 с.
67. Соколов, Виктор. Руководство к устройству разного рода мукомольных мельниц, составленное по превосходнейшим иностранным сочинениям, с дополнением множества сведений, собранных в отечестве нашем / Виктор Соколов. - СПб.: 1851. - 162 с.
68. Левшин, В.А. Полное наставление, на гидростатических правилах основанное, о строении мельниц каждого рода: водяных, также ветром, горючими парами, скотскими и человеческими силами в действие приводимые (в 6 частях) / В. Левшин. – М.: 1811. 280 с.
69. Волшаник, В.В. Малые гидротехнические сооружений в России. Водяные мельницы / В.В. Волшаник, А.Ю. Гусев //Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2004. - №1.
70. Скрябучинский. Самоучитель строительного искусства. Гл. 6. Плотины. Гл. 8. Мельничное здание. М.: - 1904.
71. Сергеев, И.Н. Царицынские мельницы XVIII века / И.Н. Сергеев//Архитектура и строительство Москвы. – 2007. - №3.

«запоры» – через которые вода поступала в ларевую систему для водяных колёс. Полотна щитов шириной от 1 до 1,8 м делали из ларевых досок, укреплённых на «стрелах» или «сковородниках» – брусьях (0,21x0,21м), верхний конец которых был окован железом с отверстием для поднятия щита ломом или к верхним концам брусьев прибивали железные скобы (рис. 1.29).

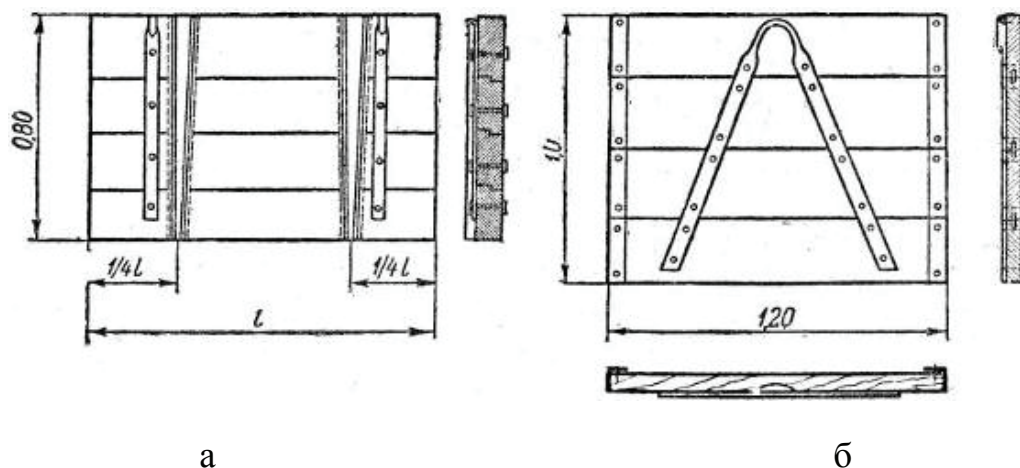


Рис. 1.27. Деревянные щиты для подъёма воротом или лебёдками из досок: а – соединённых в четверть; б – сплочённых рейками (шипами)

Иногда в верхних концах брусьев просто долбили большие сквозные дыры для лома, однако в этом случае брусья быстро раскалывались, а трёхвершковые доски скрепляли шпонками или железными полосами. Сковородники прикрепляли к щитам железными болтами и гайками. Кроме них к щитам приделывали крючья для вытаскивания канатом в случае поломки сковородника. В редких случаях над нижними щитами («мёртвыми») устанавливались в виде второго этажа ещё щиты, заходившие в те же пазы вешняных стоек. Для удержания воды в случае необходимости над последними закладывали в пазы вешняных стоек ещё и доски, образуя третий щитовой этаж. Нижние щиты вынимали только на время очень больших паводков. Они имели два сковородника.

Для придания надёжности внутреннему креплению сечения прореза устанавливали распорные стойки. При выполнении понурного, стеклового мостов и сливных полов доски при постройке прореза сплавивали на шпунтах (глубиной 0,011 м и шириной 0,04 м) с прокладкой просмоленных кошмы и сукна. Полы устраивали как одинарными, так и двойными из трёхвершковых досок (0,13 м), с забивкой всех пространств между полами глиной (рис. 1.28 и 1.29). Под вторым сливным полом иногда ещё делали и третий (рис. 1.29,б). Сливной мост (пол, быстроток), являющийся продолжением стеклового пола, укрепляли в примыкающих к нему берегам. Его ширина была равна ширине прореза, а падение составляло обычно 1 дюйм на 1 саж. (около 0,012). По

перспективы развития гидромашиностроения в XXI веке». - СПб., июнь 2003. - С. 16-20.

31. Волшаник, В.В. Особенности проектирования рабочих колес водяных мельниц с учетом параметров мельничных прудов / В.В. Волшаник, М.В. Куликов, А.Г. Пешнин, В.Б. Родионов, А.Н. Юрченко // Сб. науч. тр. Ин-та проблем машиностроения НАН Украины. – Харьков, 2003. Т.2. - С. 585-589.

32. Волшаник, В.В. Экологические и экономические основы воссоздания водяных мельниц на территории России / В.В. Волшаник, И.Л. Дмитриева, В.Б. Родионов // Материалы Седьмой Всерос.науч. конф. «Экологические проблемы сохранения исторического и культурного наследия». - Бородино, ноябрь. - 2002. - С. 245-250.

33. Алтунин, В. Вода льется – и мелет, течет, пилит, кует и откачивает воду / В. Алтунин, В. Волшаник, С. Пьявкин, О. Черных// Коммерсант-Наука. - 2015. - №3. - С. 44-45.

34. Черных, О.Н. Водяные колёса как гидравлический конвертер энергии / О.Н. Черных, В.И. Алтунин, А.В. Алтунина // Вопросы мелиорации. – 2009. - №3-4. - С. 35-42.

35. Черных, О.Н. Области применения водяных колёс и водяных мельниц в современном гидротехническом строительстве / О.Н. Черных, В.И. Алтунин // Вопросы мелиорации. – 2011. - №1-2. - С. 41-55.

36. Черных, О.Н. Перспективы использования водяных колёс для получения электроэнергии / О.Н. Черных, В.И. Алтунин, М.В. Фетодов, А.В. Алтунина // Вопросы мелиорации. – 2011. - №5-6. - С. 26-43.

37. Черных, О.Н. Считать ли нории «вечным» двигателем? / О.Н. Черных, В.И. Алтунин // Вопросы мелиорации. – 2012. - №1-2. - С. 68-81.

38. Черных, О.Н. Водяные мельницы – памятники культуры и истории техники России / О.Н. Черных, В.И. Алтунин, В.В. Волшаник, С.В. Пьявкин // Великие реки–2012: труды конгресса. – Н. Новгород, ННГАСУ. - 2013. т. 2, - С. 386-389.

39. Черных, О.Н. Некоторые аспекты локальной генерации электроэнергии / О.Н. Черных, В.И. Алтунин, А.В. Алтунина, М.В. Фетодов // Вопросы мелиорации. – 2013. - №1-2. - С.72-82.

40. Черных, О.Н. Современные аспекты использования водяных мельниц в России / О.Н. Черных, В.И. Алтунин // 15-й Международный научно-промышленный форум «Великие реки'2013»: труды конгресса. – Н. Новгород, ННГАСУ. - 2014. Т. 1, – С. 110-113.

41. Тюрин, А.И. Пособие по эксплуатации вальцевых и жерновых мельниц / А.И. Тюрин. – 1944.

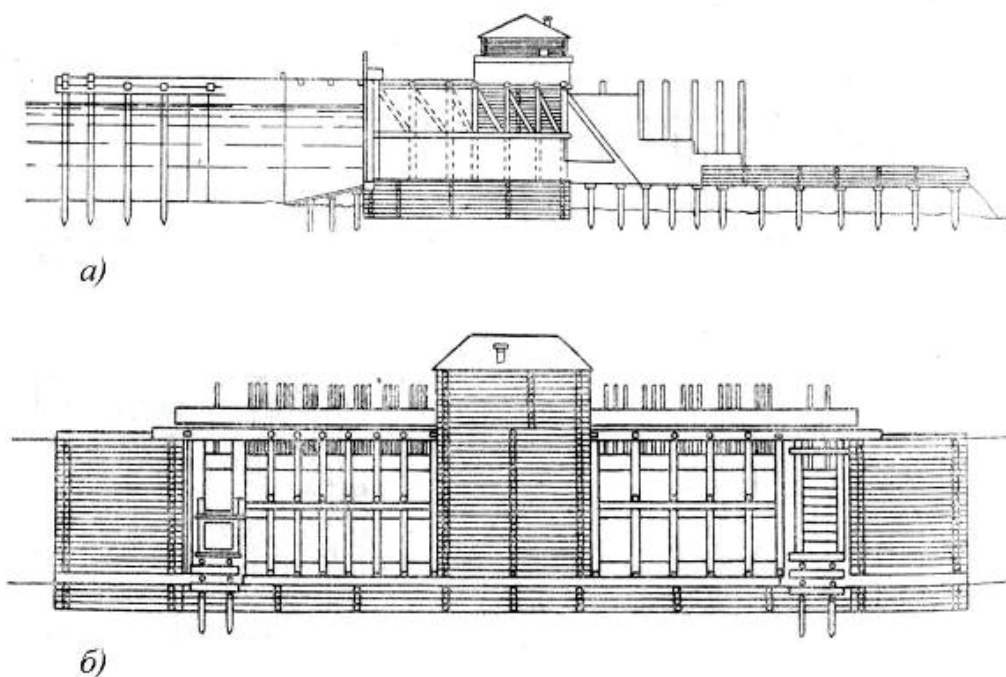


Рис. 1.30. Водоспуск Златоустовской плотины, 1761 г. [10]: а – продольный разрез; б – вид с нижнего бьефа

Своеобразное сочетание водоспускной и водосливной частей в одной плотине представляла ряжевая плотина, сооружённая мастером Бадьиным в 1793 г. на р. Оми (рис. 1.31). В ней было три прореза: большой (ширина 64 м) – водослив, средний (9 м) – водоспуск с щитами и малый (4,6 м) – рабочий прорез, подающий воду к мельничным колёсам. Порог малого прореза был устроен на 0,55 м ниже порога водоспуска и на 1 м ниже порога водослива. В нижнем бьефе для защиты от размыва была устроена мощная стланевая кладка.

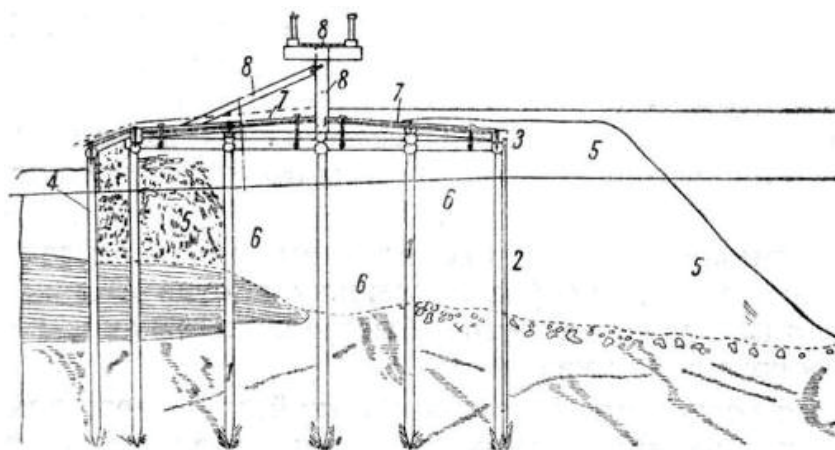


Рис. 1.31. Поперечный разрез по оси водоспуска (среднего прореза) мельничной плотины, построенной Бадьиным на р. Оми в 1793 г., [10]: 1 – сваи, битые на всём протяжении тела плотины; 2 – шпунтовый ряд; 3 – «череповой брус»; 4 – «сваи, битые под малым на заде плотины слюзом»; 5 – отсыпь; 6 – «Мякоти, набитые между рядами и помянутыми шпунтовыми сваями»; 7 – мост водоспуска («мост, насланный по тесу»); 8 – пешеходный мост и поддерживающие его стойки

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волшаник, В.В. Низконапорные гидравлические двигатели /В.В. Волшаник, Г.В. Орехов. - М.: Изд-во АСВ, 2009. - 391 с.
2. Гидротехнические сооружения: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению «Стр-во» специальности «Гидротехн. стр-во». в 2 ч. /Л.Н. Рассказов и др.; под ред. Л.Н. Рассказова. - М.: Изд-во АСВ, 2011.
3. Гидротехнические сооружения: уч. пособие для вузов /под ред. Н.П. Розанова. - М.: Агропромиздат, 1985. - 432 с.
4. Каганов, Г.М. Гидротехнические сооружения: учебник для техникумов / Г.М. Каганов, И.С. Румянцев. В 2-х кн. - М.: Энергоатомиздат, 1994.
5. СП 58.13330.2012и2 Гидротехнические сооружения. Основные положения: Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003. 2012. [Электронный ресурс]. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200094156> (дата обращения 16.05.2014).
6. Гидравлические расчёты водосбросных гидротехнических сооружений: справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1986. - 624 с.
7. СП 38.13330.2012 «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)» (актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82*). 2012.
8. СП 39.13330.2012 «Плотины из грунтовых материалов» (актуализированная редакция СНиП 2.06.05 - 84*). 2012.
9. Постановление Правительства РФ от 2 ноября 2013 г. № 986 «О классификации гидротехнических сооружений».
10. Черных, О.Н. Проектирование узла сооружений мелиоративной системы: уч. пособие для вузов / О.Н. Черных, В.И. Алтунин. - М.: Изд-во МГУП, 2014. - 321 с.
11. Нестеров, М.В. Гидротехнические сооружения и рыбоводные пруды: уч. пособие / М.В. Нестеров, И.М. Нестерова. - Минск: Новое знание; - М.: ИНФРА-М, 2012. - 681 с.
12. Волков, В.И. Расчёты и проектирование открытых береговых водосбросов: уч. пособие / В.И. Волков, О.Н. Черных. М.: Изд-во МГУП, 2013. - 108 с.
13. Черных, О.Н. Расчеты сооружений гидроузла с плотиной из грунтовых материалов: уч. пособие / О.Н. Черных, В.И. Алтунин, В.И. Волков. - М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. - 203 с.
14. Волков, В.И. Открытые береговые водосбросы: учебник для вузов / В.И. Волков, О.Н. Черных, А.Г. Журавлёва, И.С. Румянцев, В.И. Алтунин. - М.: Изд-во МГУП, 2012. - 243 с.

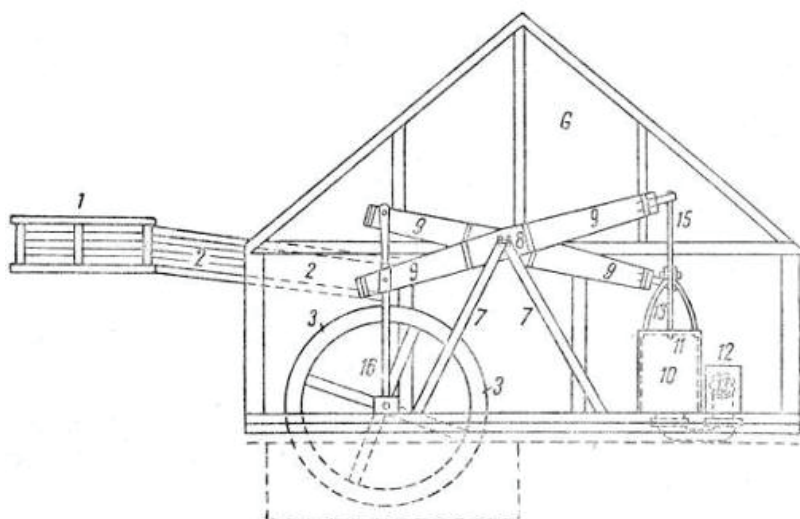


Рис. 1.33. Водяной двигатель и цилиндрическая воздуходувная установка на Гавриловском заводе в конце 90-ых гг. XVIII в. [10]: 1 – главный ларь; 2 – спуск для подачи воды на колесо; 3 – водяное колесо; 6 – чердак; 7 – стойки; 8 – подшипники балансиров; 9 – балансиры; 10 – воздуходувный цилиндр; 11 – поршень; 12 – воздушный ларь; 13 – воздухопровод; 15 – штанги для привода воздуходувного поршня; 16 – шатуны

Следует упомянуть применявшийся на русских заводах XVIII...XIX вв. групповой привод, осуществлявшийся при помощи «сухих» валов, т.е. промежуточных между валом двигателя и приводимыми в действие станками. Например, одно водяное колесо в укладном цехе Екатеринбургского завода при помощи двух «сухих» валов осуществляло привод десяти пар мехов. В некоторых случаях водяное колесо выделялось в особую силовую установку, полностью вынесенную за пределы цеха.

1.3. Водяные мельницы в России в конце 19 — начале 20 веков

К концу первой половины XIX в. в России практически в каждом крупном селе стояла ветряная или водяная мельница. В 1842 году в московской промышленности было 66 водяных двигателей, но в сельском хозяйстве на мельницах водяные колёса находили ещё более широкое употребление [106, 107]. В 1879 году в России, по официальным данным, имелось не менее 25 тысяч только мукомольных мельниц. В действительности их количество предполагалось в 2...3 раза больше. Наибольшее распространение в то время имели водяные мельницы из-за обилия малых рек и речушек, на некоторых стояло до двух десятков мельниц и более. Например, в Сибири, в ангаро-илимском бассейне, строили лишь водяные мельницы, но зато своеобразной конструкции [33]: колёсные с наливным, иногда подливным колесом и малопроизводительные, мелкие – мутовчатые, с лопастным валом. Они иногда каскадом располагались на маленьких горных ручьях, используя для работы

Тетева – несущая наклонная балка лестницы. Но в отличие от косоура ступени крепятся к ней не сверху, а с внутренней стороны, например, вставляются в пазы или гнёзда.

Тканый геотекстиль – гибкий материал, состоящий из сплетённых волокон, обладающий хорошей водопроницаемостью и прочностью на разрыв.

Ток (ладонь) – открытая площадка размером 15х5 м, смазанная жидкой глиной и утрамбованная, где производили обмолот зерна.

Тюфяк – плоское гибкое покрытие для крепления русла водотока, выполняемое из хвороста, камня, габионов (матрацы Рено, Джамбо), бетона и др. материалов.

Укреплённый берег (русло) водотока – берег (русло), защищенный биологическим или вегетационным покрытием, одеждой из строительных материалов от размыва потоком, разрушения льдом, волновых и других явлений.

Урез воды – линия пересечения водной поверхности водного объекта с берегом или откосом подпорного сооружения.

Уровень воды – высота поверхности воды в водном объекте над условной горизонтальной плоскостью сравнения, например, над нулём графика гидрологического поста.

Уровень мёртвого объёма (УМО) водохранилища – наинизший уровень сработки полезного объёма водохранилища.

Ушат – невысокое деревянное ведро, на верхнем крае которого имеются два ушка с дырочками.

Фашина – пучок хвороста или цилиндрическая хворостяная оболочка, заполненная щебнем, гравием, камнем или глинистым грунтом, перевязанный проволокой или прутьями.

Флютбет – совокупность частей ГТС, поверх которых протекает вода. В его состав входит: понур, тело плотины или водоподпорного сооружения, водобой, рисберма и её концевой участок.

Форсированный подпорный уровень (ФПУ) – наивысший технически и экономически обоснованный подпорный уровень, временно допускаемый в верхнем бьефе в чрезвычайных условиях эксплуатации.

Фронтон – завершение фасада здания, портика, ограниченное двумя скатами по бокам и карнизом снизу.

Фут – старая русская и английская мера длины, равная 0,3048 м. В метре 3,281 футов.

Четверик – четырехгранный сруб.

Сохге Кадниковского уезда Вологодской губернии на протяжении полутора вёрст стояло в свое время двенадцать водяных мельниц.

Вместе с тем, в это время были широко распространены уже и паровые вальцевые мельницы. Крупнейшая московская паровая вальцевая мельница имела 9 этажей. Здание по фасаду занимало 25 сажений, было высотой 15 сажений. Мельница имела паровую машину в 125 лошадиных сил и размалывала 3 тысячи пудов муки в сутки [105].

По данным [27] во времена расцвета мельничного строительства в России действовало около 65 тыс. водяных мельниц. Мельничное дело передавалось от поколения к поколению. Уже упоминавшиеся выше «водяные люди» (так назывались на Руси строители водяных мельниц, плотин) выработали свою своеобразную технику и технологию сооружения уникальных земляных плотин, возводимых для привода водяного колеса, часто являвшимся основным заводским двигателем. Причём возведение мельничных и заводских плотин требовало огромных затрат труда, средств и уникальных расчётов больших, чем, собственно, всех заводских сооружений.

В 1912 г. в Российской империи было 45 449 гидросиловых установок общей мощностью порядка 700 тыс. л.с. Две трети от этой мощности развивали водяные колёса. Из них действовали десятки тысяч сельских водяных мельниц и ничтожное количество мелких промышленных гидросиловых установок. При этом на долю малых и несовершенных водяных турбин приходилось 215 894 л.с. Таким образом, вплоть до 1917 г. турбины имели весьма ограниченное использование, а основным водяным двигателем оставалось водяное колесо, в подавляющем большинстве весьма примитивной конструкции. Мельницы строились бессистемно в соответствии с интересами частного владельца. Поэтому зачастую они способствовали затоплению и заболачиванию поймы водотока, а водяные колёса использовали энергию воды неэффективно.

1.4. Водяные мельницы в Российской Федерации в конце 20 — первой четверти 21 веков

Водяные мельницы во многих «традиционных» местностях России работали в советский период до 60-тых годов XX века. Анализ статистических данных по мельницам в различных губерниях России показал, что, например, в 1916 г. только в Олонецкой губернии имелось 857 однопоставных водяных мельниц. В среднем на одну мельницу в год приходилось 3,4 тысячи пудов зерна, а на двухпоставную мельницу в Вытегорском уезде - более 6 тысяч пудов зерна в год. Некоторые мельничные агрегаты функционировали по

деформаций грунта тела и основания плотины в месте выхода фильтрационного потока в дренаж.

Овин – специальное помещение для сушки снопов.

Опечек (опечье) – деревянный фундамент печи, который стоит на земле под полом, иногда выше пола.

Отруби – отходы от помола зерновых культур – истёртые оболочки зерна, остатки некачественной муки, которые идут на корм скоту.

Остатки – наружные концы брёвен на углах сруба, при рубке в чашу.

Плаха – половина расколотого или распиленного вдоль бревна для настила пола.

Плетень – крепление из кольев, вбитых в дно или береговой откос и переплетённых хворостом.

Плотина из местных материалов – водоподпорное сооружение, выполняемое преимущественно из грунта, камня, промышленных отходов, дерева и пр. материалов.

Подклет – нижняя часть старинного дома, обычно использовалась как кладовая.

Полати – дощатый настил для спанья между печкой и боковой стеной избы под потолком.

Попуск – регулируемая подача воды из верхнего бьефа в нижний.

Постав – комплект мельничного оборудования: пара мельничных жерновов, колёсный привод, люк, рукава и ящики для муки и зерна.

Потайной зуб – прямоугольный выступ в верхнем бревне, входящий в соответствующий паз.

Пруд – искусственный водоем, выкопанный или созданный путем постройки плотины в долинах небольших рек, ручьев, в балках или оврагах площадью обычно не более 1 км², наполняемый поверхностными или подземными водами и служащий источником воды для различных целей.

Расход воды – объём воды, протекающей через живое сечение потока в единицу времени.

Реабилитация – комплекс инженерно-технических, ландшафтных и других мероприятий, выполняемых для возвращения водным объектам экологического состояния, обеспечивающего необходимый уровень социальной привлекательности окружающей территории.

Реконструкция – комплекс инженерных работ, предусматривающих полную или частичную замену основных элементов водного объекта, всех компонентов зеленых насаждений прилегающей к водоему территории и всех

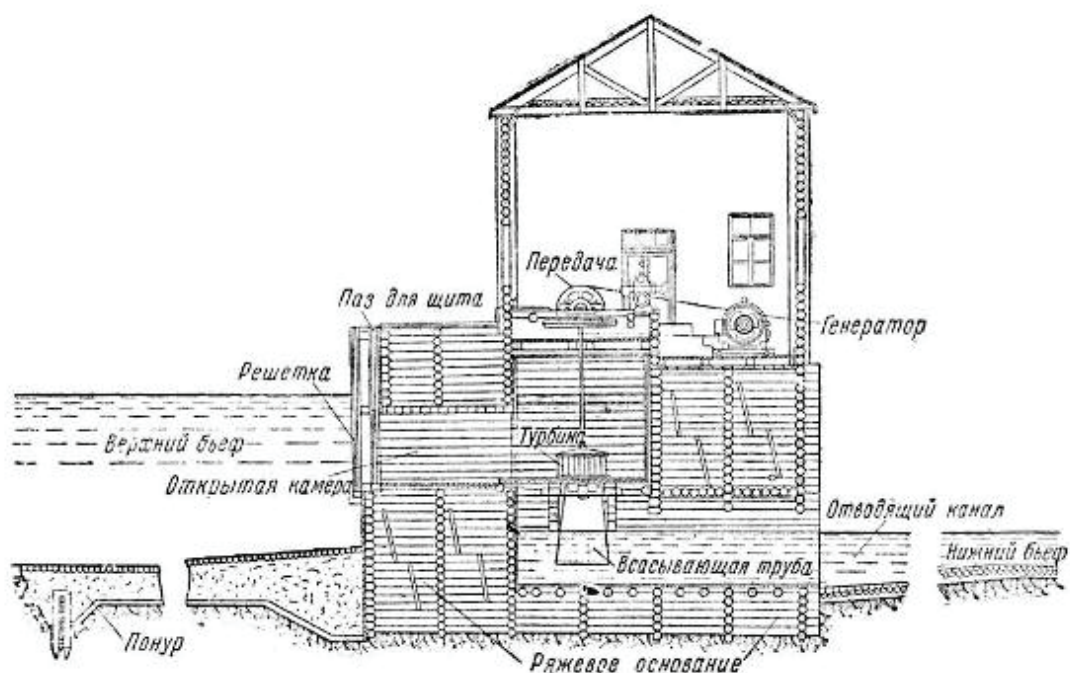


Рис. 1.36. Здание ГЭС ряжевой конструкции, совмещённое с устоем плотины (с вертикальной турбиной и прямоосной отсасывающей трубой), 1941 г. [7]

По первому варианту была предусмотрена реконструкция здания мельницы с выделением в нём части площади для генераторного помещения путём использования излишней площади, или ликвидацией одного из поставов [7]. Турбинная камера размером 2,6х2,6 м устраивалась непосредственно под мельничным зданием. Во втором варианте, когда размеры мельничного здания не позволяли выделить помещения для установки генератора, турбинная камера и генераторное помещение строились на месте водяных колёс. Мощность ГЭС после реконструкции старой мельничной установки была в пределах 15...30 кВт.

Турбопостав представлял собой вертикальный агрегат, на нижнем конце вала которого было посажено рабочее колесо турбины, а на верхнем конце закреплён нижний жернов-бегун постава. Для турбопостава ВИГМом была разработана упрощённая металлическая турбина Френсиса сварной конструкции (ВО-59), которую можно было изготовить в любой мастерской, имевшей электросварочное оборудование. Турбина с рабочим колесом диаметром 59,4 см при напорах от 2 до 4,5 м развивала мощность от 17,8 до 43 л.с., при расходе воды от 636 до 855 л/с (рис. 1.37). Турбина могла быть использована для привода как одного генератора, так и в комбинации с мельничным жерновом.

Каскад водоёмов – группа долинных водоёмов, функционально зависящих друг от друга и расположенных на одном водотоке.

Качество воды – характеристика состава и свойств воды, определяющая её пригодность для конкретных видов водопользования.

Клеть – прямоугольный бревенчатый сруб, представляющий холодную жилую половину дома, соединённую с тёплой избой сенями.

Клинкерный кирпич, плитка – пережженный до температуры спекания красный кирпич или плитка из отобранной глины.

Конёк – специальное бревно на крыше дома, удерживающее верхние концы кровельного материала и препятствующее проникновению воды на чердак. Спереди украшалось резным изображением головы лошади.

Конопатка – окончательное уплотнение между венцами (заполненных паклей или мхом при сборке дома), а также угловых соединений «чесаной» паклей.

Консервация – комплекс инженерных мероприятий, направленных на сохранение состояния и внешнего вида водного объекта на данный момент времени.

Концевое устройство (концевая часть) крепления нижнего бьефа – устраивается за рисбермой для недопущения подмыва элементов водосбросного сооружения, чаще всего выполняется в виде «зуба», «ковша», свайного ряда или каменной отсыпки.

Косоур – несущий элемент лестницы, наклонная балка, на которую сверху укладываются лестничные ступени. Косоуры бывают металлические, деревянные, железобетонные. При этом ступени не обязательно выполняются из того же материала.

Косячатое окно – большое окно в старинном доме с косяками и рамами.

Курица – ствол (ели) с одним ответвленным корнем, образующим крюк. Курицы укладываются на следи крыши и используются в качестве стропил при устройстве безгвоздевых кровель.

Лапа (рубка в лапу, в зуб, в шпат) – классический русский стиль рубки, наиболее экономный с точки зрения расхода древесины, но отсутствие остатка делает угол более теплопроводным и в большей степени подверженным атмосферному увлажнению.

Ларь – деревянный лоток, подающий воду / ящик, сундук для хранения вещей, драгоценностей.

Ласточкин хвост – способ рубки без выпусков бревна и без потайного зуба; потайная врубка применяется в узлах опирания деревянных балок

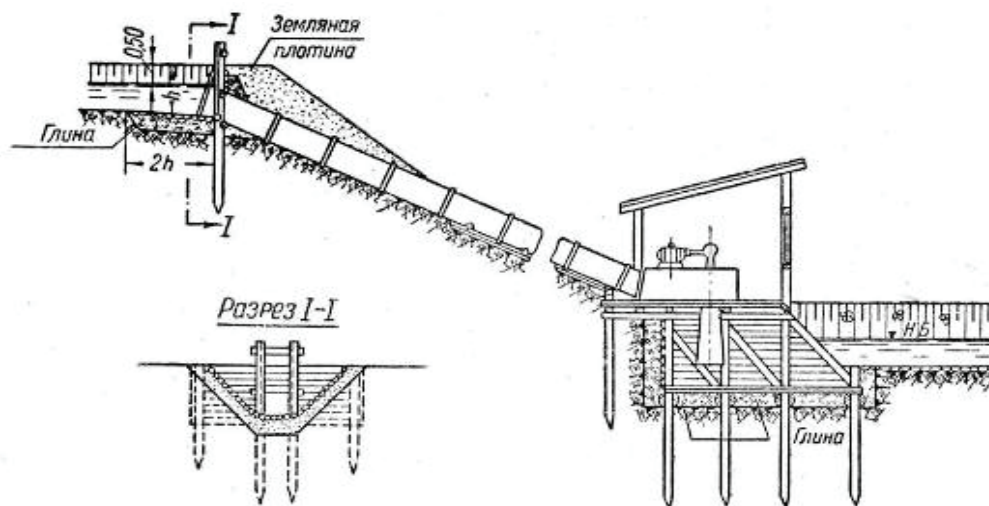


Рис. 1.38. Установка агрегата микро-ГЭС при напорах от 1,5 до 3,5 м мощностью 6...15 кВт при существующей мельничной плотине [7]



Рис. 1.39. Остатки мельничных гидроузлов в Московской области, 2008 г.: а - ГЭС на р. Воря у дер. Мишнево в Щёлковском районе; б – отводящий канал мельничного водосброса Тарелочкиного пруда на р. Чечера в мкр. Салтыковка в г. Балашиха

Однако на территории бывшего СССР в первые годы после окончания второй мировой войны турбины для малых ГЭС изготавливали из дерева мощностью до 100 кВт и микро-ГЭС – до 10 кВт с расчётом на срок эксплуатации в течение 10 лет. Учитывая основное преимущество ГЭС перед другими типами электростанций – способность регулировать энергию и отдавать её в необходимом количестве в нужное время, особенно в период максимальной нагрузки энергосистемы, они стали незаменимыми в современных объединённых энергосистемах.

Ещё в первой половине XX в. в Средней Азии с помощью каждого подвесного водяного колёса с ковшами по периметру – чигиря, поднимающего воду из реки в канал на высоту до 2,5 м, орошалось более 1,5...2 га земли. Сейчас в хозяйственных целях водяные колёса и мельницы с ними в России практически не используются, но есть отдельные случаи использования таких сооружений в Белоруссии, Германии, Голландии, США и других странах.

Водоспуск – сооружение, предназначенное для полного или частичного опорожнения водохранилища, а также для пропуска санитарных расходов в нижний бьеф.

Водоток – поверхностный водный объект с обеспеченным природой непрерывным движением вод (ручей, река, канал и т.д.). Малый водоток – ручей, канал, имеющий длину менее 10 км.

Водохранилище – искусственный водоём, образованный водоподпорным сооружением на водотоке для накопления воды в период её избытка с последующим расходом на нужды народного хозяйства и с целью регулирования стока.

Водяная мельница – ГТС, представляющее гидравлический механизм с водяным колесом, вращаемым водным потоком, движение которого выполняет полезную работу посредством жерновой пары.

Волоковое окно – маленькое окно без рам, которое «заволакивалось» бычьим пузырьком или слюдой, изнутри волоковое окно закрывается тесовой задвижкой, выполненной из доски.

Восстановление – приведение водного объекта в первоначальное (нормально функционирующее) состояние.

Восьмерик – часть здания восьмигранной формы, восьмигранный сруб.

Врубка – способ сочленения брёвен в срубе.

Высота плотины (дамбы) – расстояние по вертикали от отметки гребня плотины (дамбы) до её подошвы.

Выпуски (помочи) – концы брёвен, выпущенные из сруба для поддержания свесов конструкций.

Габион – гибкие сетчатые конструкции, заполненные камнем, щебнем или галькой (коробчатые, габионы Джамбо, матрацы Рено, цилиндрические).

Гидравлический (водяной) двигатель (гидросиловая установка) – устройства, в которых механическая энергия воды преобразуется в механическую же энергию двигателя и далее в электрическую или в другой вид энергии.

Гидротехнические сооружения (ГТС) – сооружения, подвергающиеся воздействию водной среды, предназначенные для использования, охраны и управления водными ресурсами, предотвращения вредного воздействия воды на окружающую природу.

Гидроузел – совокупность ГТС, возводимых на водотоке, объединённых условиями совместной работы и местоположения, решающих единую водохозяйственную задачу. В зависимости от создаваемого напора H ,

экспозиции – деревенскую усадьбу времён А.С. Пушкина: изба, хозяйственный двор, амбар, сарай, рига, баня и мельница» (рис. 1.41).

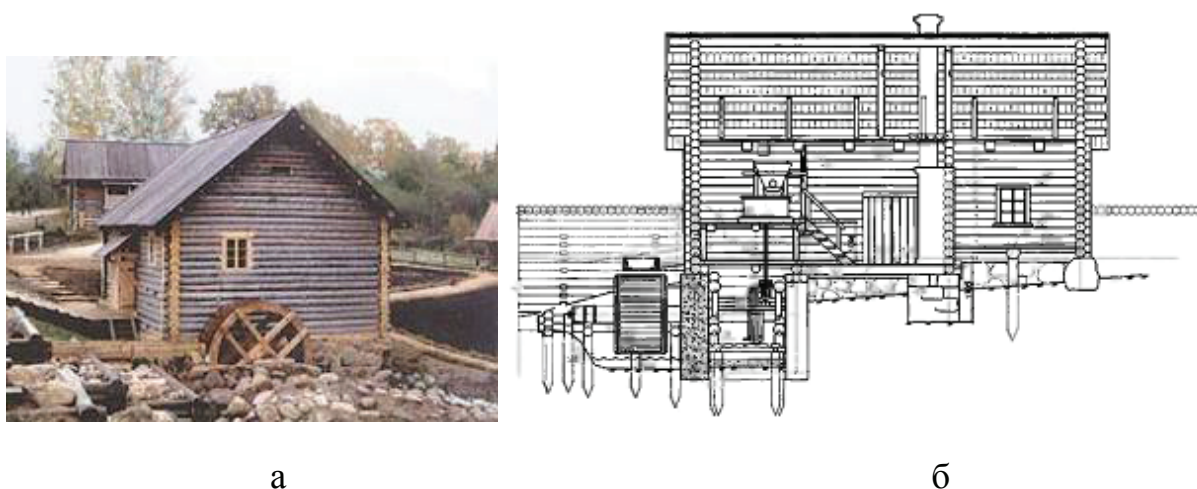


Рис. 1.41. **Водяная мельница в музее-усадьбе «Михайловское»:** а – общий вид (фото В. Песков, 2007 г.); б - продольный разрез (гипотетическое воссоздание, проект 2000 г.) [7]

Однако сруб на плотине установили, а запустить мельничное колесо без специалистов не смогли. В Бугровской мельнице был установлен постав, сохранившейся до 2003 г. в водяной мельнице в д. Маслово Опочецкого р-на Псковской области. В его состав вошли: жернова в обсадах, система коробов с поворотной рамой на стойке, пружинный механизм колебаний короба, система воротов, рукавов и клиньев для регулировки горизонтальной жёсткости жерновов. Только мастера-реставраторы научно-производственной фирмы «Росреставрация», базирующейся в Саранске под руководством А. Митронькина, восстановили это водяное устройство.

Рядом с Музеем деревянного зодчества на берегу р. Жужа с 2007 г. объектом этнографической экспозиции является водяная мельница с плотиной в северной части музея-заповедника «Коломенское», расположенного практически в центре г. Москвы (рис. 1.40б, 1.42, 1.43).

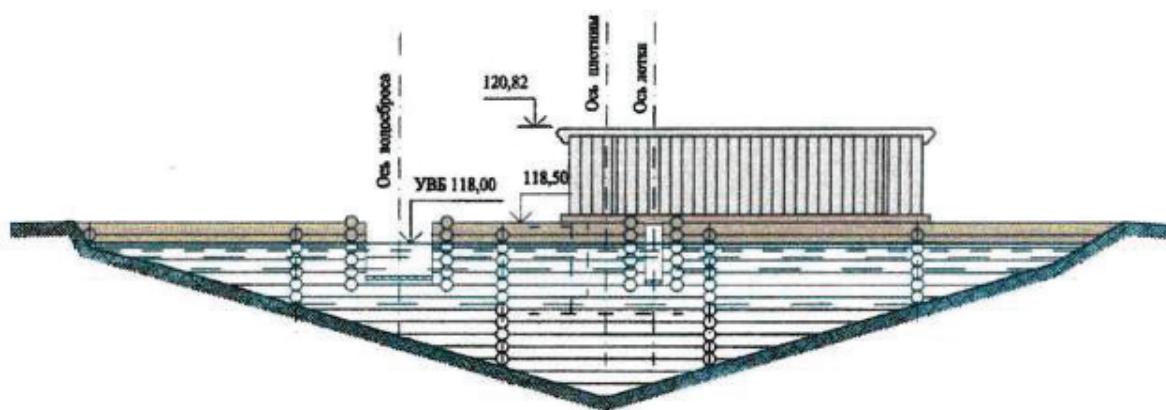


Рис. 1.42. Вид с верхнего бьефа на мельничную плотину на р. Жужа

мельничных прудов. Например в ноябре 2015 г. в селе Лох Новобурасского муниципального района Саратовской области заработала после реставрации водяная мельница середины XIX века (эскизный проект студентов Л. Прудилиной и В. Агальцова, рук. проф. В. Волшаник, 2012 г.). Но это пока единицы.

Важно сохранить «...уважение к минувшему...» - следы деревенской культуры, чтобы люди и особенно молодёжь видели не только превращённые в музей усадьбы дворян, но и объекты крестьянского быта. В этом ряду водяная мельница – очень привлекательный элемент для туристов и экскурсантов, склонных к активному, познавательному отдыху на природе. Очевидно, что и в настоящее время усовершенствованное водяное колесо может служить важным гидравлическим преобразователем энергии с разным целевым использованием. Восстановленный мельничный комплекс может стать одновременно новым универсальным центром рекреации и современной коммерции, поможет создать необходимую туристическую инфраструктуру, значительно повысит как туристическую привлекательность региона, так и придаст туризму в разных регионах РФ событийный и познавательный характер.

История развития гидроустановок для использования энергии рек насчитывает века. Ветряные и водяные мельницы "местного масштаба" позволяли избегать длинных бессмысленных и накладных перевозок продукции, потери времени, зерна, муки, хлеба на пути следования и перевалочных пунктах, и затраты энергии. К сожалению, инициатива МГСУ и ОАО НИИЭС по восстановлению водяных мельничных гидроузлов, которая была предложена для развития малой российской энергетики, пока не нашла достойного воплощения. Критическое использование технического опыта, накопленного в прошлом, а вместе с тем и бережное использование сохранившихся гидротехнических сооружений старого времени будет достойной оценкой замечательных дел русских гидротехников XVI...XIX вв.

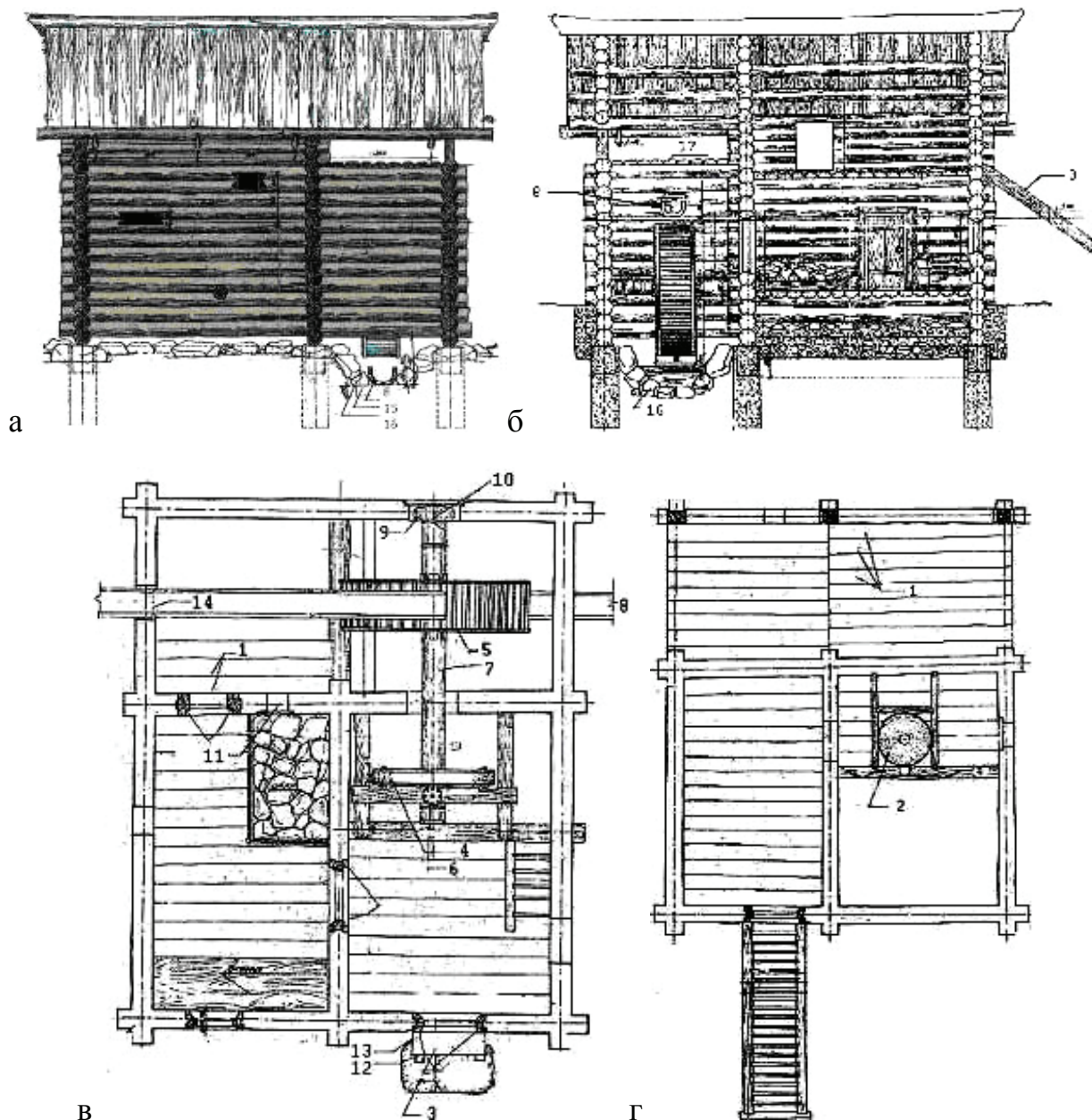


Рис. 1.44. **Натурный аналог водяной мельницы на р. Жужа в ГМЗ «Коломенское»:** а – план первого яруса; б – план второго яруса; в – западный фасад; г – разрез 1-1 по зданию мельницы; 1 – пол из горбылей; 2 – жёрнов; 3 – лестница; 4 – сухое колесо; 5 – мокрое колесо; 6 – шестерёнка; 7 – вал; 8 – лоток долблённый; 9 – камень; 10 – смазка; 11 – волоковое окно; 12 – бревно; 13 – плаха; 14 – стык лотка; 15 – песчаная подушка; 16 – валуны 20...40 см; 17 – плаха

В состав гидротехнического комплекса, кроме водяной мельницы, входят: деревянная ряжевая плотина общей длиной 25,7 м, шириной 4,5 м; водосбросные сооружения в виде 2-х деревянных лотков; насосы для подачи необходимого расхода воды на мельницу; два моста (нижний – пешеходный, верхний - для проезда скорой помощи, службы эксплуатации и пожарных); берегоукрепление из камня ложа реки и берегов водоёма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Системный подход к разработке тематических историко-художественных туристических городских экскурсионных программ, предполагающих «погружение» туристов в исторические события, их непосредственное участие в историко-художественных театрализованных программах и действиях, даст яркое представление о культурном потенциале и вековых традициях российской территории. Так, после восстановления плотины и мельницы, вырабатывающей электроэнергию, на Борисовском пруду в Царицынском парке Москвы предполагается включить их в единый экскурсионный маршрут, здесь же планируется открыть музей Гидротехники. После реализации проекта, в столице может появиться единственная действующая мельница верхнего боя эпохи Бориса Годунова.

Историческая практика применения водяных колес показала, что их целесообразно использовать лишь в том случае, когда водный источник энергии находится в непосредственной близости от промышленного предприятия, что далеко не всегда возможно. Развитие горно-металлургической промышленности, требовавшее, в частности, всё в больших объемах поднятия грузов, роста высоты подъёма и перемещения груза на значительные расстояния, потребовало значительно более мощных двигателей, чем ручной труд или лошадиная сила. Это первоначально и послужило базой для использования водяных колёс в этой области. Зачастую на предприятиях, где использовался этот вид гидроэнергии, наблюдались кризисы, что явилось толчком для изыскания нового источника энергии – тепловой (паровой, 1802 г.), а затем и электрической (1838 г.). Эти виды энергии можно было легко транспортировать от места их производства в любую точку применения.

Водяные мельницы, безусловно, являются великим памятником истории техники России, которые необходимо воссоздать по оставшимся изображениям и чертежам с учётом достижений современного научно-технического прогресса. Возрождению строительства ветряных и водяных мельниц препятствует, в первую очередь, почти полная потеря необходимых ремесленных навыков. Создавшаяся ситуация постепенно может быть преодолена выпуском специальной и популярной литературы; сейчас такой общедоступной литературы в нашей стране почти нет [60].

Исторический опыт строительства и эксплуатации водяных мельниц на малых реках России может быть использован в наше время не только при восстановлении старинных усадебно-парковых водных систем (их только в столице около 150), но и при создании туристско-рекреационных зон Москвы, региона и всех губерний РФ (Ясная Поляна, Ново-Иерусалимский монастырь,

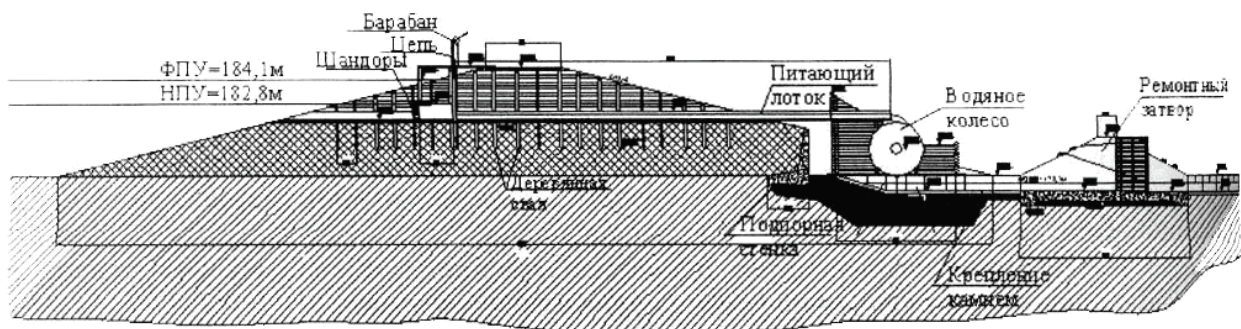


Рис. 1.46. Продольный разрез по оси лотка мельницы, проектируемой на р. Воинка на территории Государственного Бородинского военно-исторического музея-заповедника [24]

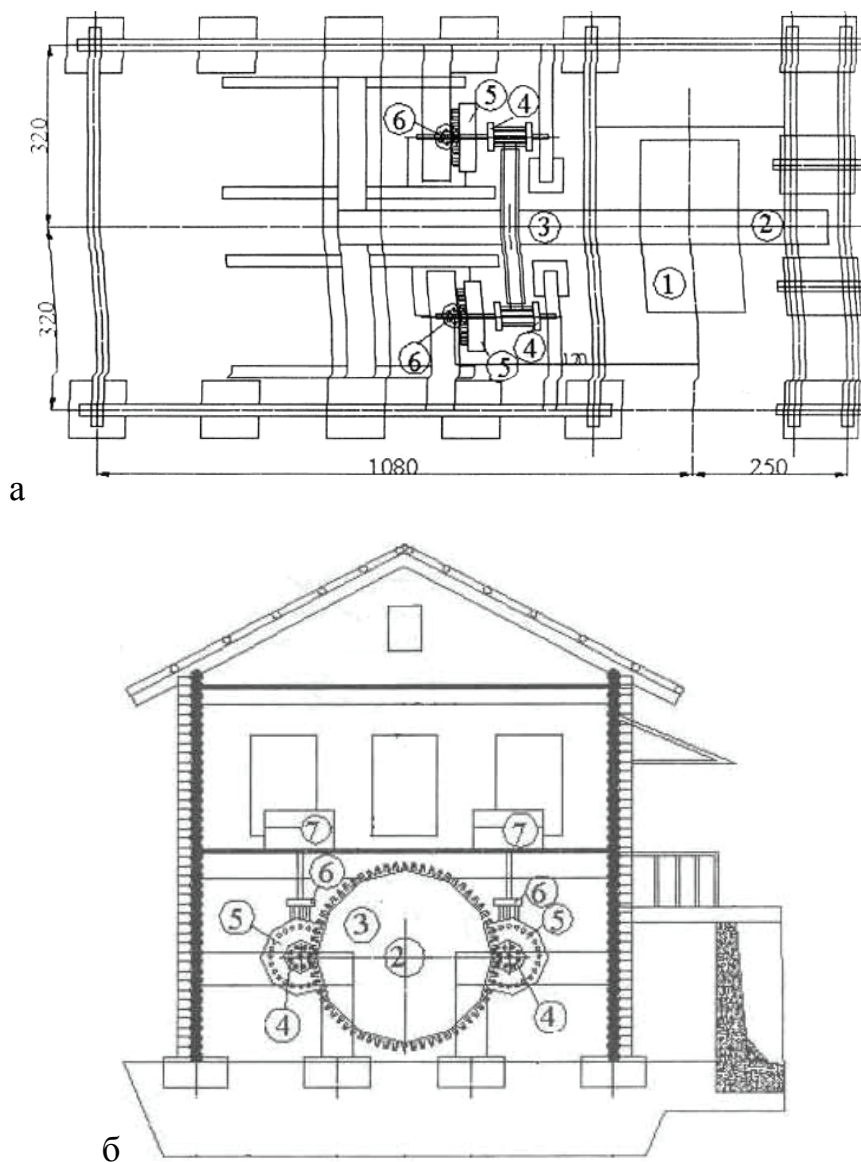


Рис. 1.47. План компоновки основного оборудования (а) и разрез (б) по зданию мельницы на р. Воинке в с. Бородино (проект НИИЭС, 2003 г.): 1 – водяное колесо; 2 – главный вал; 3 – большая шестерня механической передачи; 4 – горизонтальный барабан; 5 – цевочная шестерня; 6 – вертикальный барабан; 7 – жёрнов

скапливалось по пять – восемь человек. Это убежище служило местом общения крестьян, вроде небольшого клуба.

При каждой паре жерновов имелось следующее оборудование (см. п. 6.2) [49]: обечайка – деревянный или железный кожух, закрывающий с боков или отчасти сверху верхнюю часть лежняка и бегуна, с отверстием для выхода размолотой муки, препятствующей распылению и разбрасыванию муки на выходе её из-под бегуна; регулирующий прибор для поднимания и опускания бегуна, состоящий из винта, сообщающегося с лифтой, на которую опирается вертикальный вал жернова, и гайки чаще прямоугольной нарезки; обруба – деревянного пола, плотно обжимающего лежаки; ковш – резервуар для зерна; корытце, регулирующее сыпь зерна в ечею; трясок – обеспечивающий за счёт движения жернова непрерывное сотрясение корытца для устранения задержек сыпи зерна.

Зерно засыпали в ковш-бункер (рис. 6.40), установленный над жерновом. Для регулирования подачи зерна на жернова бункер был снабжен трясуном-дозатором. Дозатор служит важным элементом регулирования размола. Вероятно, в древних мельницах он не применялся. Он представляет собой неглубокий качающийся ящичек, подвешенный к бункеру снизу. В лицевой стенке ящичка сделано отверстие для прохода зерна. Зерна из бункера сыплются в трясун, а он, покачиваясь, бросает порции в глазок жернова. Зерна попадают между жерновов и размалываются. Крупность помола зависит от подачи зерен на жернова. Много подавать – мука выйдет крупной, мало – ее можно перемолоть, «сжечь». Мука выбрасывается через проем обечайки в желоб и по нему стекает в ларь.

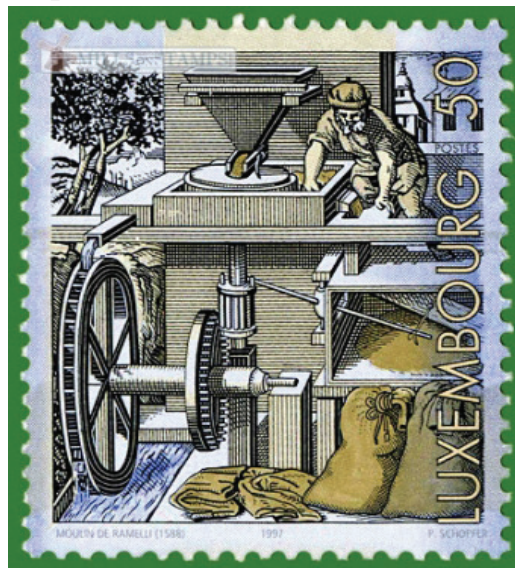


Рис. 6.40. Водяная мельница на почтовой марке: гравюра Агостино Рамели, 1588 г.

Если трясун-дозатор из наклонного положения установить в горизонтальное, зерна из него сыпаться не будут. Он окажется запертым.

всего 2,45 м. Вторая половина здания (площадь 80,85 м²) также разделялась на два этажа, из которых только верхний имел своды; между первым (его высота 3,36 м) и вторым (3,3 м) этажами шло, вероятнее всего, деревянное перекрытие. Но особую архитектурную значительность придает зданию мельницы его внешнее оформление. Один из фасадов (тот, что обращен к Прядильной башне) обработан орнаментом из кирпича и простых керамических элементов, протянувшимся сплошным поясом. Фасад, обращенный к Белой башне, более наряден. Вдоль первого яруса идет галерея с пятью арками. Над этой галереей — еще одна, крытая, типа “гульбища”; ее кровля поддерживается восемью кирпичными столбами переменного сечения — квадратные внизу, они в средней части переходят в восьмигранник, а выше вновь становятся четырехугольными, постепенно расширяются и переходят в арочный свод. Столбы, перемычки между ними, профили арок — все выполнено из кирпича и декорировано рельефным орнаментом, состоящим всего из четырех - пяти простейших элементов, но производящих неизгладимое художественное впечатление. Очень оригинально решен переход от здания мельницы к находящемуся по соседству сушилу: излом, который делает галерея мельницы, придает всему сооружению удивительную уравновешенность и завершенность. Соловецкая мельница может быть причислена к выдающимся памятникам русского зодчества XVII в. Перед зданием мельницы в настоящее время демонстрируются трубы деревянного монастырского водопровода XVIII - начала XX в.в. Они выполнены из морёной лиственницы внешним диаметром 0,4...0,53 м и диаметром отверстия 0,11...0,12 м. Их соединяли в раструбный стык и затягивали металлическими скобами и обручами с прокладкой из полос бересты шириной 0,1...0,15 м.

В конце XVIII в. здание мельницы было расширено пристройкой к нему с севера нового помещения: их граница хорошо видна на наружной стене. К 1828 г. относится усовершенствование мельницы, которая и раньше работала круглый год: к трем поставам прибавили крупорушку, установили “толчею” и сукновальную машину; в дальнейшем были произведены и другие пристройки к зданию мельницы и прачечной («портомойни»), стоявшей рядом, на том же канале (здесь белье мылось «стремлением воды», уже “отработавшей” на мельнице)...” [60]. Сохранился вал с приводными колесами и множеством отверстий (свидетельство того, что с XVI в. мельница неоднократно перестраивалась), а также фундаменты под жернова. В 1908 г. два водяных колеса были заменены водяной турбиной. В настоящее время мельницу, как объект культурного наследия, реконструировали, установив подлинный механизм, который был в XIX в., причём, как и большинство других машин в

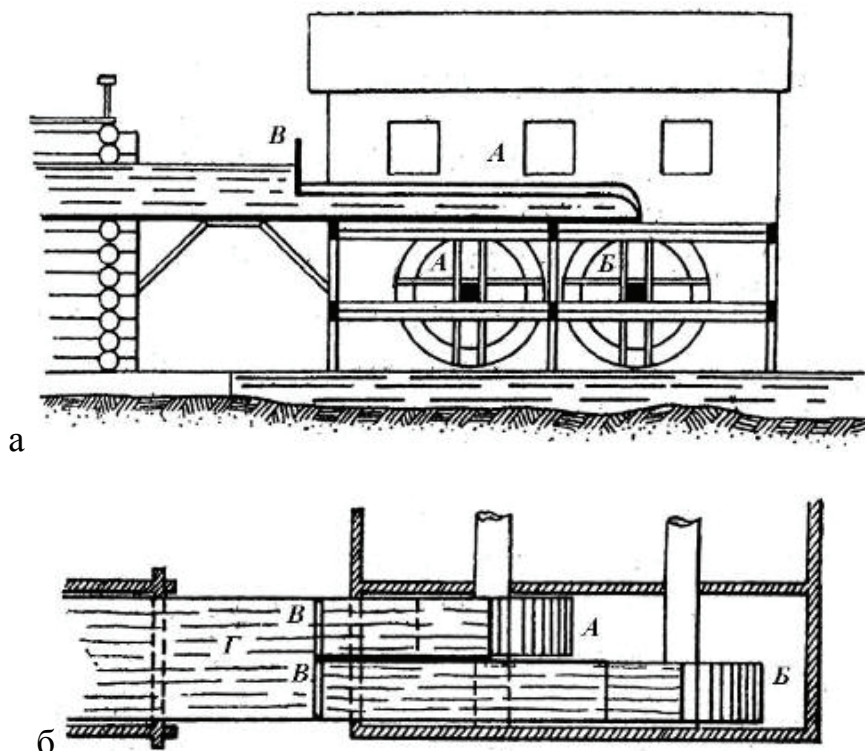


Рис. 6.37. Мельница с двумя водяными колёсами: а – вид сбоку; б – план: А и Б – водяные колёса; В – вертикальные щиты; Г – подводящий лоток

6.7. Помольное помещение

Все возделываемые злаки используются для производства круп. Крупу получают из зерна, обдирая с него оболочки. После этого зерно либо используется целиком (гречка, пшено, рис, перловая крупа из ячменя, овсяная крупа), либо расплющивается (овсяные, кукурузные хлопья), либо дробится до получения крупы определенных размеров (из пшеницы – манная и пшеничная крупы, из ячменя – ячневая крупа, из кукурузы – кукурузная крупа). В то же время крупа является промежуточным продуктом при производстве муки. Пшеница – главная хлебная культура России и, вероятно, самая распространенная в мире. Дикие предки пшеницы обнаруживаются уже в раскопках каменного века на территории Закавказья, Ближнего Востока и Южной Европы. За свою историю люди путем и стихийного, и целенаправленного отбора создали множество разновидностей и сортов пшеницы. Основная разновидность (90...95 % посевных площадей) – мягкая пшеница. Именно она используется для выпечки хлеба. Рожь – злак, пользующийся в России не меньшим уважением, чем пшеница, первоначально был лишь сорняком на пшеничных и ячменных полях. Но ввиду своей стойкости и вкуса уже к началу нашего тысячелетия рожь вошла в число возделываемых культур.

Помольня была как отдельным зданием (рис. 6.38), так и в виде избы, разделённой на две половины (пятистенки). В этом случае в одной проживал

сооружениями имели нормальное техническое состояние, 25 % - удовлетворительное. Требовали капитального ремонта либо находились в аварийном состоянии 44 % прудовых гидроузлов. На момент обследования, выполненного сотрудниками МГМИ (2003 - 2010 гг.) в самом тяжёлом состоянии были водные объекты в усадьбах: «Покровское-Стрешнево» на р. Чернушка и «Братцево» на р. Сходня в СЗАО, «Узкое» на р. Чертановка и «Чернево» на р. Цыганка в ЮЗАО. Все они расположены на наиболее крупных прудовых каскадах Москвы, и раньше в их состав входили мельницы.

Для раскрытия туристского потенциала наряду с реставрацией главных домов усадеб, построек хозяйственного двора, садово-парковых сооружений (мостов, ротонд, въездных ворот, павильонов, родников и т.д.) планируется воссоздать пруды с гидротехническими сооружениями (плотинами, водопропускными сооружениями, берегоукреплением и т.д.), а на некоторых из них восстановить и мельницы («Царицыно», «Братцево», «Алёшкино подворье», «Влахернское-Кузьминки» и др.) (рис. 1.49).

История появления мельниц на каскаде Царицынских прудов известна со времён правления Бориса Годунова. Тогда в бассейне р. Городни в карьерах, где открытым способом добывался белый камень (мергалит), была сделана запруда, образовавшая Цареборисовский (Борисовский) пруд. С XVII в. здесь на правом берегу стояла деревянная мельница, при ней амбар и избушка. На плане 1760 г. обозначено мельничное здание размером 12х18 м с подводящей 2-х секционной трубой для 2-х поставов.

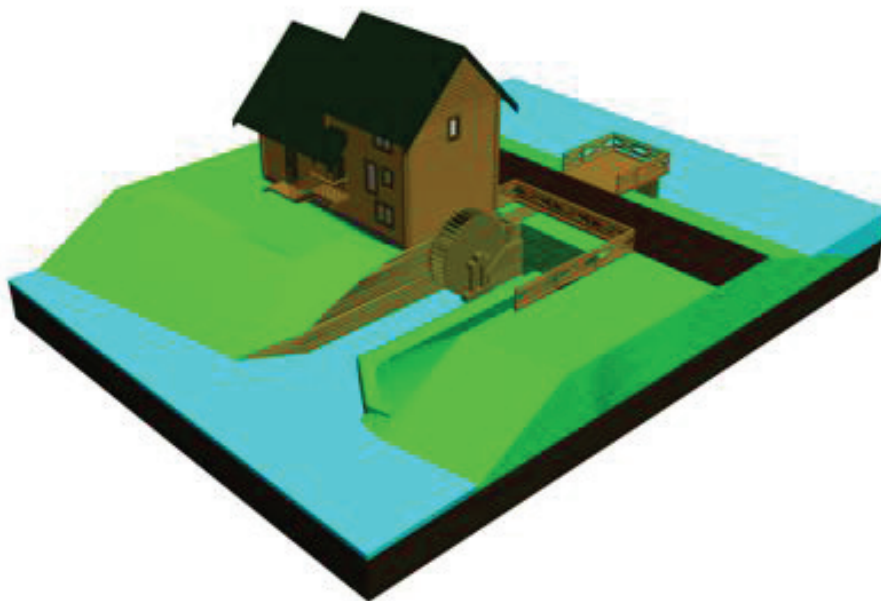


Рис. 1.49. Водяная мельница-трактир на плотине пруда в усадьбе «Влахернское-Кузьминки» (из проекта восстановления гидросистемы усадьбы ЗАО «Экопроект⁺», 2006 г.)

При рассмотрении классического примера типовой мельницы, можно отметить следующие особенности её габаритов и конструкции (рис. 6.36) [14].

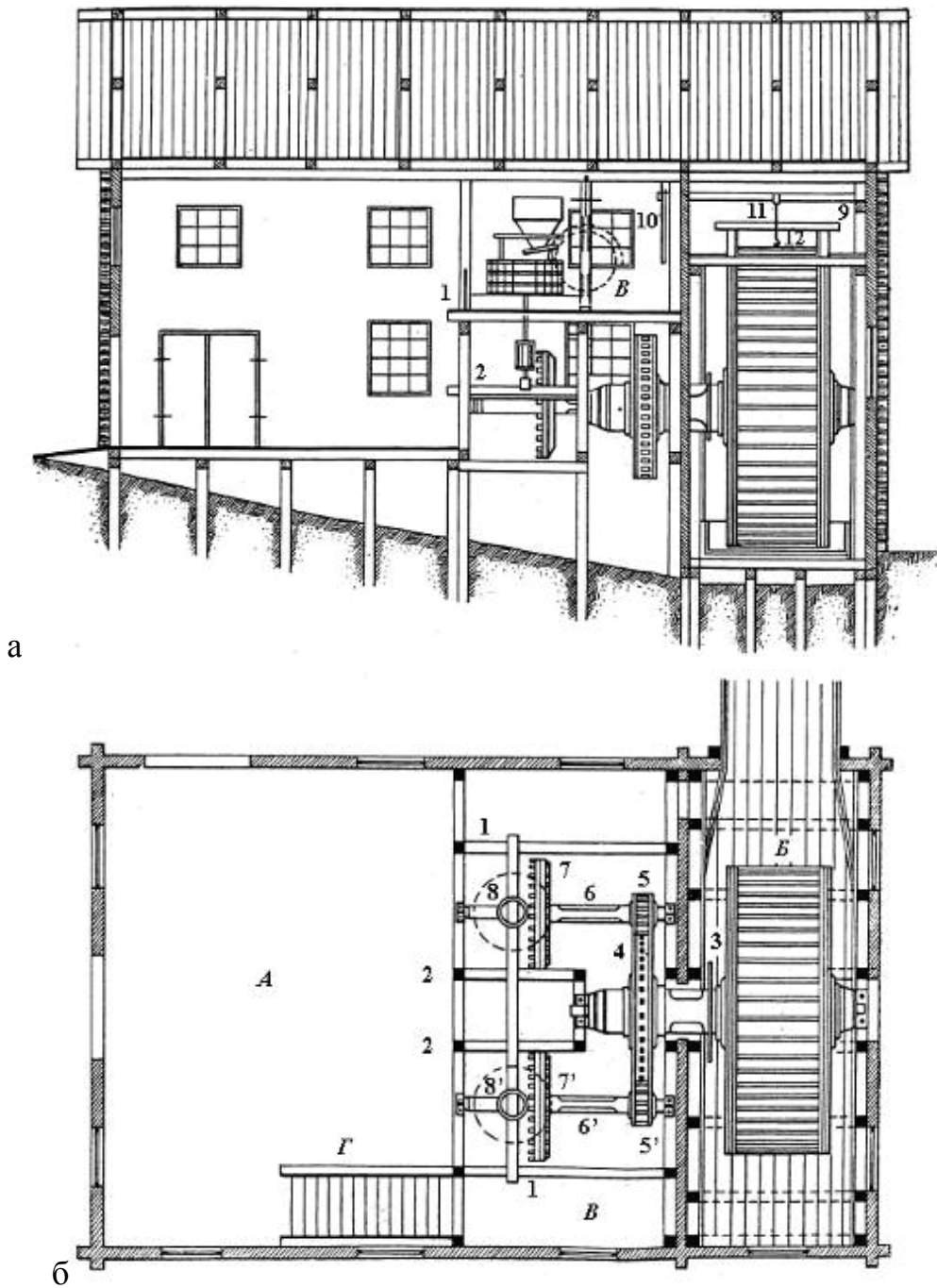


Рис. 6.36. Здание и оборудование мельницы с одним колесом [14]: а – продольный разрез; б – план: А – внутреннее помещение мельницы; Б – кожух водяного колеса; В – надстройка; Г – лестница на помосте; 1 – балки; 2 – стойки; 3 – шайба; 4 – гребневая шестерня; 5 – цевочные шестерни, укрепленные на деревянных валах 6; 7 – лобовые шестерни, сцепляющиеся с цевочными шестернями 8; 9 – ось с рукояткой 10; 11 – ось с крюком; 12 – затвор

Например, для одного из распространённых вариантов водяной мельницы с одним колесом высота здания от пола до потолочных балок составляла 5 м 33 м. Длина всего мельничного здания вместе с помещением (кожухом Б) для

колеса до 6 л/с. Предполагается показывать процесс помола зерна, для чего запроектирован жёрнов диаметром 106 см. Для обеспечения условий эксплуатации мельницы на колёса предусмотрена подача расхода до 15 м³/с по стальным трубам диаметром 400 мм, установленным внутри деревянных труб. Концевая часть – открытый деревянный лоток, внутри которого установлен стальной лоток. Подача воды на колёса регулируется задвижкой, установленной в камере. На входном оголовке есть набор гидромеханического оборудования, которое использовалось в XVIII-XX вв. Оголовок оборудован пазами для установки шандор, воротом для их подъёма и сорозадерживающей решёткой.

Мельница, стоявшая на плотине Верхнего Царицынского пруда, впервые упоминалась в 1666 г. «...на речке Городенке мельница мелет в два жернова» (рис. 1.52). В 1682-1684 гг. в Чёрной грязи, ставшей вотчиной В.В. Голицына, расширяются пруды, строятся новые плотины и мельницы с дворами.

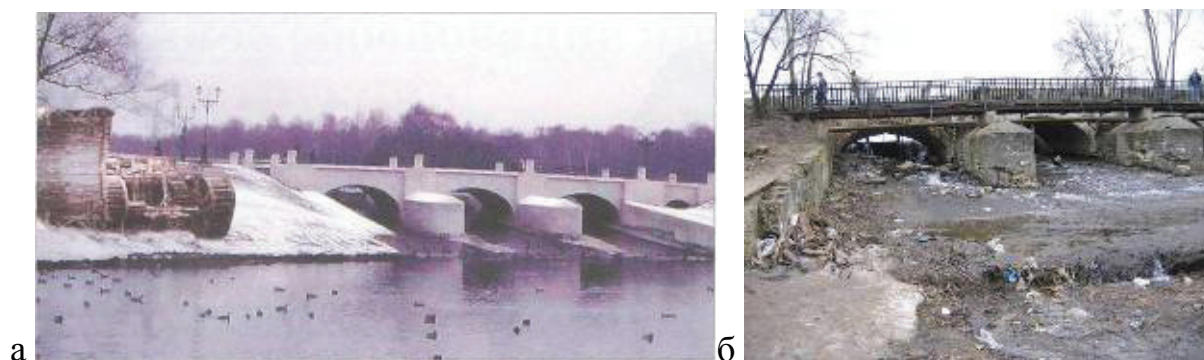


Рис. 1.52. «Кантемировская» мельница на Верхнем Царицынском пруду. Гипотетическая реконструкция И.Н. Сергеева для первой половины XVIII в. Художник Б.Н. Жуков. 2006 г. [31] (а); б – водосброс Верхнего Царицынского пруда до реконструкции, 2003 г.

Интересна история строительства водяной мельницы, появившейся в это время на расположенной ниже плотине в с. Шипилове. В документе совещания архитекторов и строителей Экспедиции Кремлёвского строения от 1778 г. записано: «... строение каменной плотины и мельницы в селе Царицыне неотложно сие строение принять от господина Бланка для производства господину Казакову», но в альбомах М.Ф. Казакова нет чертежей этой плотины.

повышения их добротности (ситовеечный процесс – самостоятельно или в сочетании с шлифовочным процессом). Полученные в результате этих операций чистые мелкие крупки и дунсты окончательно измельчают в муку. Основную массу белой муки получают только на заключительном этапе помола. Этап первичного дробления называется драновым процессом, а заключительный этап – размольным. Наиболее простой вариант помола состоит в том, что измельчают всё зерно вместе с оболочками. В результате получают обойную муку. Этот простой процесс можно провести не только на вальцовых станках, но и на жерновах (рис. 6.34).

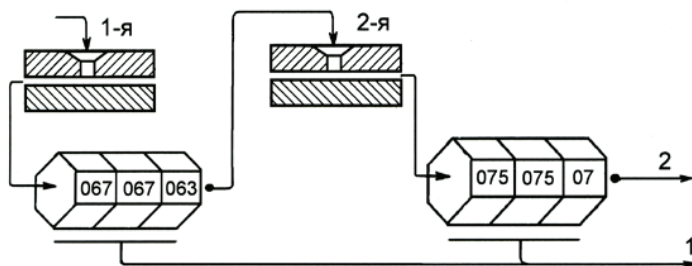


Рис. 6.34. Технологическая схема простого помола зерна на жерновой мельнице в обойную муку: 1 – мука; 2 – отруби

В этом случае обойную муку получают проходом металлотканых сит с размером ячеей 0,63...0,75 мм. Просеивание после жернова ведут на буратах. Сход со 2-го бурата можно снова направить на вторую систему, если в нём содержится много эндосперма. При желании получить не только обойную, но и белую муку устанавливают на первой раме второго бурата шёлковое и капроновое мучное сито, например, №38, и этот поток муки собирают отдельно. На вальцовых станках измельчение ведут на трёх системах.

Организация сортового помола зерна сложнее. Эти схемы подробно приведены в технической литературе [29] и различаются не только числом систем измельчения, но и наличием ситовеечного процесса и производственной мощности мельниц. Вымол сходовых продуктов в драном и размольном процессах для мельниц высокой производственной мощности (40...50 т/сут) производят на вымольных машинах отдельно или совместно. Для каждой конкретной мельницы технологические схемы помола надо уточнять, исходя из конкретной характеристики перерабатываемого зерна, заданного вида помола. С этой целью необходимо обращаться к специалистам.

6.6. Помещения для механических передач

Мельничный механизм обычно размещался под крышей внутри здания мельницы, а снаружи располагалось водяное колесо, конструкция которого зависела от особенностей местности и возможности организовать подпорное сооружение – запруду. Водяное колесо верхнего боя в российских мельничных

на Борисовском пруду в Царицынском парке они будут включены в единый экскурсионный маршрут, здесь же планировалось открыть музей Гидротехники. Мельница с колесом диаметром почти 6 м могла бы не быть муляжом, а стала бы вырабатывать электроэнергию. Её жернова должны были бы закрутиться ещё в 2012 г., но из-за отсутствия финансирования единственная в Москве мельница эпохи Бориса Годунова так и не была восстановлена.

ГЛАВА 2. МЕЛЬНИЧНЫЕ ГИДРОУЗЛЫ И МЕЛЬНИЧНЫЕ ПРУДЫ

2.1. Принцип работы водяных мельниц

Одно из основных устройств водяной мельницы – водяное колесо – имеет необходимую для привода в действие другого основного устройства мельницы – жерновой пары – вращательную форму движения. Вращение водяного колеса обеспечивается воздействием на лопасти колеса водного потока, создаваемого на водяной мельнице комплексом специальных гидротехнических сооружений, строящихся на реке, речке или ручье. Назначение комплекса гидротехнических сооружений на водяной мельнице заключается в следующем:

- создать на выбранном водном потоке запас воды (мельничный пруд), позволяющий мельнице работать тогда, когда необходимо молотить зерно, а не только тогда, когда в реке течёт достаточное количество воды;
- повысить скорость потока, а, следовательно, и его энергию, непосредственно на водяном колесе.

Это достигается путём строительства на водотоке плотины, образующей мельничный пруд. За счёт строительства плотины уровень воды в реке перед плотиной поднимается. Максимальный уровень воды в пруду определяется, как правило, топографией того участка местности, где на реке создаётся мельничный пруд. Если берега высокие, то в этом месте можно создать глубокий пруд с большим объёмом воды в пруду, и на мельнице можно будет поставить водяное колесо большой мощности, его можно будет эксплуатировать большее количество времени.

Мельничная плотина должна иметь регулируемый или автоматический водослив для пропуска особенно «высоких» паводков с целью обеспечить целостность плотины, которая, как правило, сооружается из местного грунта и поэтому часто характеризуется относительно низкой безопасностью [13, 116].

В ряде случаев плотина в составе старинного мельничного комплекса отсутствовала и водяное колесо вращалось под воздействием движущегося

продукты поднимаются нориями (рис. 6.32а) или же пневматическим транспортом – посредством воздушного потока, что требует большой затраты энергии, поэтому используется только на крупных мельницах. Для мельниц небольшой производительности целесообразно использовать механический транспорт. Перемещение зерна и продуктов сверху вниз происходит самотёком по стальным или деревянным трубам [28, 29, 67]. Горизонтальное перемещение продуктов осуществляется транспортёрами, чаще всего винтовыми (шнеками) (рис. 6.32б).

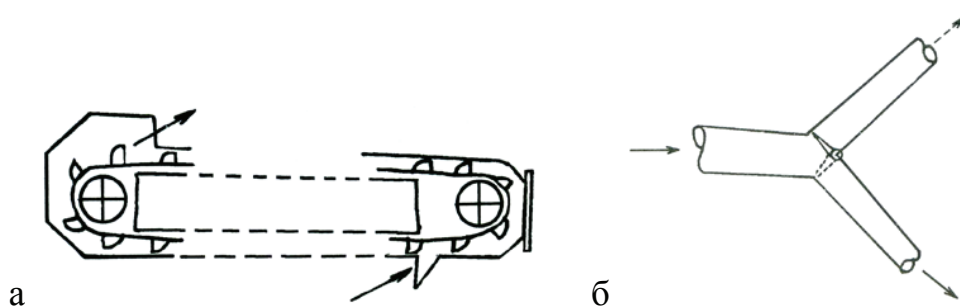


Рис. 6.32. Схемы транспортирующих машин: а – нория (самотаски); б – винтового транспортёра (шнека)

Корпус нории изготавливают из металла или досок. Производительность определяется ёмкостью ковшей, частотой их расположения на ленте и скоростью движения ленты. Привод нории осуществляется через верхний барабан.

6.4. Аспирационное оборудование

Целью аспирации на мельнице является обеспыливание машин и охлаждение их рабочих органов и продуктов измельчения, поскольку при проведении технологических операций на мельнице с зерном и продуктами его измельчения образуется много пылевидных частиц, которые могут выделяться в воздух, загрязнять его, помещение мельницы и окружающую территорию. Это вредно и опасно, поскольку зерновая и мучная пыль легко возгорается. Кроме того, при измельчении зерна образуется теплота, в результате чего продукты нагреваются, из них испаряется вода, на станках и других машинах образуется тестообразный слой, а затем развивается плесень, интенсифицируется коррозия металлических деталей.

Аспирационная сеть включает следующие машины: вентилятор для отсоса воздуха из технологического оборудования и обеспыливающая установка – фильтр или циклон. Они соединены трубами, по которым транспортируется запылённый воздух. Аспираторный фильтр – шкаф, внутри которого находится матерчатый рукав из плотной ткани, через которую воздух просасывается, а пылевидные частицы остаются внутри рукавов, опадая потом вниз, и шнеком выводятся из фильтра. Аспираторный циклон – цилиндр или конус большого

паводка, условиями работы и обеспечения энергетических параметров и нужд автономных потребителей, то выбор створа гидроузла, типов основных сооружений и их компоновки взаимосвязаны. Тип мельницы зависит, как правило, от установленного на ней гидравлического двигателя – водяного колеса [59]. Размеры и тип последнего выбираются в зависимости от напора H , создаваемого мельничной плотиной (рис. 2.1), и расхода воды. Напор – разность уровней воды верхнего (ВБ) и нижнего (НБ) бьефов плотины.

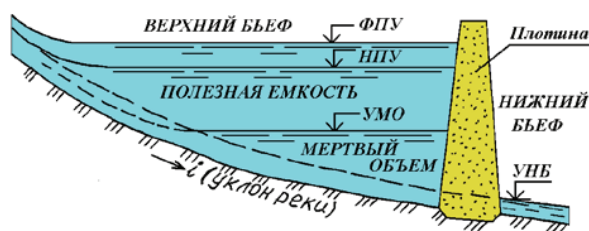


Рис. 2.1. Схема создания напора H на гидроузле с помощью плотины [20]

В зависимости от напора в соответствии с общепринятой классификацией [47] мельничные гидроузлы в большинстве своём с напором менее 10 м относятся к низконапорным. Они могут быть: деривационные (рис. 2.2,а), (бесплотинные) и плотинные (русловые) (рис. 2.2б и 2.3).

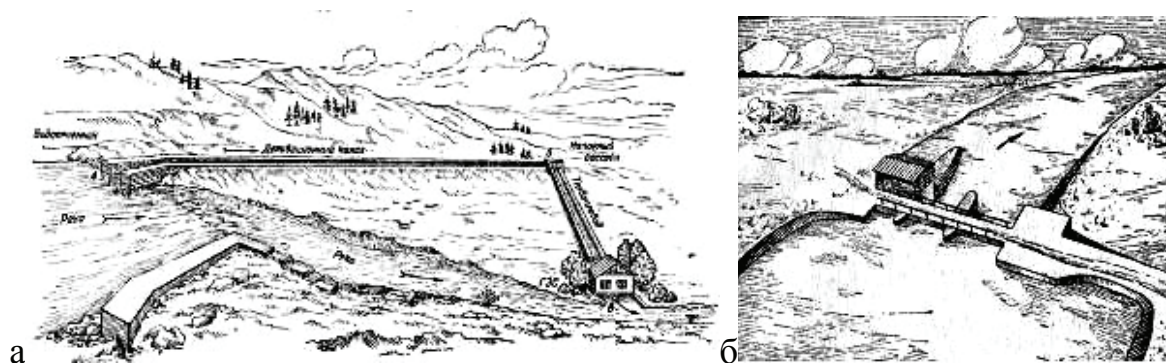


Рис. 2.2. Общая схема деривационной (а) и русловой (б) установки с расположением здания мельницы

В состав основных сооружений могут входить: плотина (запруда), здание мельницы с одним или несколькими водяными колёсами, оградительные дамбы, подводящие и отводящие каналы, лотки или трубы, затворы или шлюзы-регуляторы, водопропускные сооружения. В деривационных гидроузлах вода подаётся к мельничному колесу либо по каналу, либо по напорному трубопроводу.

сита. Они различаются по номерам, связанным с размером их ячеек и эффективностью просеивания продукта (см. табл. 6.5). Шёлковые сита различаются по назначению: для сортирования относительно крупных промежуточных продуктов (крупочные сита) и для отбора муки (мучные сита), а в пределах этих групп – по характеру плетения ткани. В последнее время на технологических схемах помола иногда указывают не номера установленных сит, а непосредственно размер их отверстий в мкм. Иногда используют и швейцарскую нумерацию сит – количество отверстий на 1 дюйм, т.е. на протяжении 2,54 см. В тихоходном бурате сита натягиваются на гранях шестигранного барабана, а у быстроходного – на щёточный барабан центрифуги. Производительность последнего в несколько раз выше.

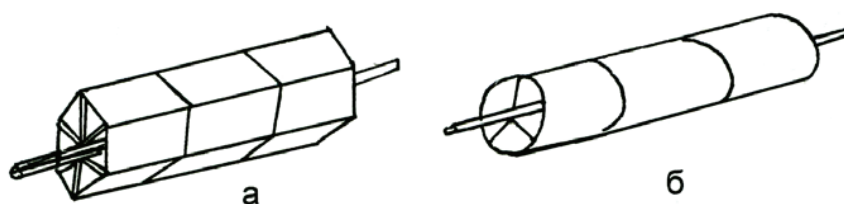


Рис. 6.29. Схемы тихоходного (а) и быстроходного (б) буратов

Основной просеивающей машиной на мельницах является рассев (рис. 6.30). В его кузове стопкой друг над другом уложены сита с различной конструкцией рам, на которых они натянуты. Таких ситовых рам в отсевах может быть от 12 до 22. Эти ситовые рамы собраны в группы с одинаковыми номерами сит. Каждая группа служит для выделения определённого продукта из общей его массы. В современном отсеве ситовые рамы помещены в герметически закрытый кузов из стальных листов, что исключает выделение мучной пыли в атмосферу. В каждом отсеве от 4–х до 8 секций, которые работают независимо друг от друга. На крупных сортовых мельницах используют двухэтапное сортирование, а на малых – в отсеве устанавливают мучные сита и муку извлекают уже при первом просеивании измельчённого продукта [29].

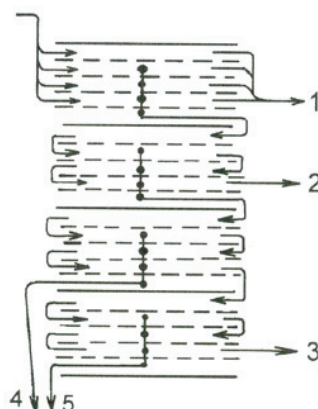


Рис. 6.30. Схема движения продуктов в мельничном отсеве

верхнего боя на горных реках и реках со значительным перепадом плотины вообще не устраивали. Но поскольку в равнинных местностях скорость течения рек мала для того, чтобы вращать верхненаливные и средненаливные колёса силой удара струи, для создания нужного напора было необходимо реку запруживать, искусственно поднимать уровень воды и направлять струю по желобу на лопатки колёс.

Своевременная экспертиза объектов малой гидроэнергетики, к которым относятся и водяные мельницы, позволяет определить сферу деятельности, охватывающую мероприятия по охране малых водотоков при их энергетическом освоении [5]. При этом остро стоит вопрос о сохранности пойм и пойменных земель, являющихся, с одной стороны, исходной базой естественного и культурного кормопроизводства, а с другой – естественным биохимическим барьером реки. Поэтому при проектировании гидроузлов и водохранилищ (при выборе отметки НПУ, параметров зеркала водохранилища и установлении площади затопления) немаловажное значение следует придавать сохранению пойменных земель и старопахотных угодий. Решение этих вопросов достигается технико-экономическим обоснованием (ТЭО) выбора створа гидроузла, защитой пойменных земель путем обвалования и посредством специальных водовыпускных сооружений.

Для восстановления речной экосистемы, поддержания естественной природной связи между нижним и верхним бьефами, повышения самоочистительной способности водоёма желательно предусматривать возведение специальных сооружений для пропуска рыбы, осуществлять инженерные мероприятия, направленные на искусственное зарыбление, обеспечение в водоёме необходимого количества растворённого кислорода, очистку или недопущение сброса в водоём загрязнённого поверхностного стока, создавать лесоперевалочные устройства в районах, богатых лесом и т.д. При выборе места расположения водяной мельницы в составе низконапорного гидроузла необходимо учитывать, что именно мельница формирует природно-архитектурный ландшафт прилегающей территории, подчёркивающий привлекательность её как места отдыха, а нередко и источника вдохновения творческих личностей. Кроме того, наряду с культовыми сооружениями водяные мельницы раньше часто являлись местом общения, а на сельских территориях были социальными центрами.

Расположение здания мельницы в значительной степени зависит от местоположения плотины. Оно либо является продолжением или частью плотины (рис. 2.4), либо располагается в непосредственной близости от последней.

зерна. Затем зерно попадает в расположенный ниже шнек. На боковой поверхности колеса закреплены ковши, которые при вращении колеса проходят через ёмкость с водой, захватывают воду, которая затем выливается из них в шнек с зерном. Здесь зерно перемешивается с водой, чтобы равномерно увлажнились все зёрна. Для этого длина шнека должна быть не менее 2 м. Количество подаваемой в зерно воды зависит от массы проходящего зерна, так как вращение колеса ускоряется или замедляется при изменении его потока. Однако степень увлажнения остаётся неизменной, так как процентное соотношение между массой зерна и массой воды сохраняется на установленном вначале уровне. Точная дозировка воды имеет важное значение, поэтому нужно не только регулировать работу аппарата вначале, но и регулярно проверять его работу.

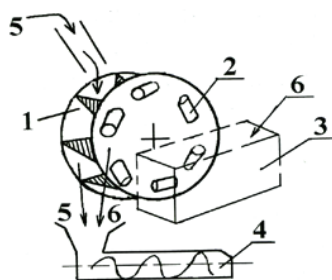


Рис. 6.27. Схема увлажнительного аппарата для зерна: 1 – лопасти; 2 – ковши; 3 – сосуд с водой; 4 – шнек с зерном; 5 – зерно; 6 – вода

Существуют и более сложные увлажнительные машины, но они не имеют высокую производительность, поэтому для сельских мельниц непригодны. В крайнем случае можно подавать воду тонкой струйкой, например, через насадку в виде душа, непосредственно в зерновой шнек. Но в этом случае требуются особо тщательная регулировка и постоянный контроль.

6.3.2. Технологическое оборудование размольного отделения

В размольном отделении мельницы производят помол подготовленного зерна и разделение (сортирование) измельчённых продуктов на муку и отруби. Дополнительно можно получить некоторое количество манной крупы, но только при наличии ситовеечной машины. В размольном отделении осуществляют следующие технологические процессы:

- измельчение зерна и промежуточных продуктов помола;
- просеивание измельчённых продуктов для выделения муки, отрубей и фракционирования по крупности промежуточных продуктов;
- обогащение крупных фракций промежуточных продуктов на ситовеечных машинах (при их наличии).

Измельчение зерна на современных мельницах выполняют на вальцовых станках, однако на малых водяных и ветряных мельницах до сих пор

условия местности (например, высокие берега и т.д.), то может отсутствовать и отводящий канал. В этом случае перепад уровней можно устроить у самой плотины.

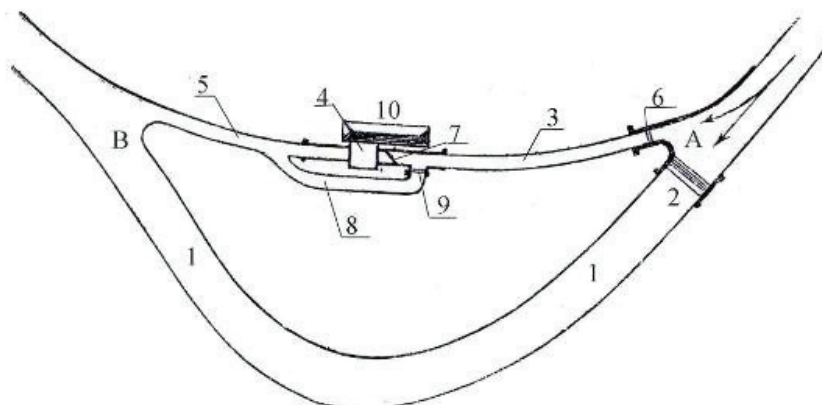


Рис. 2.5. Компоновочная схема мельничного гидроузла на запруженном водотоке: 1 – река; 2 – плотина; 3 – подводящий канал; 4 – здание мельницы; 5 – отводящий канал; 6 – шлюз-регулятор; 7 – сороудерживающая решётка; 8 – водосливной канал; 9 – щитовой затвор; 10 – производство, использующее энергию, производимую колесом (фабрика, мастерские и пр.)

В зависимости от размещения основных сооружений мельничных гидроузлов на малых реках можно выделить три характерных типа компоновок: **русловую, пойменную и полупойменную**. При русловой компоновке основные сооружения (после реконструкции они нередко выполнялись из бетона и камня) располагаются в русле реки (рис. 2.2б и 2.7). Если длина подпорного фронта больше ширины русла, то можно выполнять врезку фронта в берега (рис. 2.6), или здание мельницы расположить под углом к осевой линии подпорного фронта.

При значительной длине створа основную его часть занимает грунтовая плотина. При пойменной компоновке здание мельницы и основные каменные или бетонные сооружения располагаются на пойме, а грунтовая плотина перегораживает водоток. В этом случае строительные работы по основным сооружениям ведутся в одном котловане на берегу, что упрощает и ускоряет строительство, увеличивается объём работ по подводящему и отводящему каналам, под котлованы водосброса и здание мельницы (мини-ГЭС).

специальный ковш: те и другие выводятся из триера в конце машины отдельно.

Если размер ячей подобран так, чтобы отбирать короткие примеси, то этот триер называется куколеотборником, если же триер предназначен для удаления длинных примесей – овсюгоотборником. Вполне понятно, что вместе с семенами куколя – сорного ядовитого растения – выделяются частицы битого зерна и другие примеси, а вместе с семенами овсюга – семена ячменя и т.п. Положение ковша регулируется внутри триера с тем, чтобы обеспечить надёжное разделение зерна и примесей.

В некоторых районах в зерне содержатся в качестве примеси мелкие камешки (галька), размеры которых мало отличаются от размеров зерна. Поэтому от них не удаётся освободить зерновую массу ни на воздушно-ситовом сепараторе, ни на триере. При измельчении зерна вместе с галькой мука получается с «хрустом» и непригодна для употребления. Для отбора гальки применяют камнеотборники (рис. 6.24).

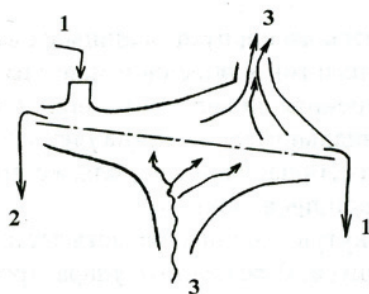


Рис. 6.24. Принцип работы камнеотборника: 1 – зерно; 2 – галька; 3 – воздушный поток

Рабочим органом машины служит ситчатая поверхность, установленная наклонно. Зерно поступает на эту поверхность и вследствие её колебательного движения распределяется по ней и перемещается. Снизу вентилятором подаётся воздух, который пронизывает зерно. Скорость его регулируется так, чтобы разрыхлить слой зерна. Благодаря этому тяжёлые частицы (галька, кусочки стекла или немагнитных металлов) остаются внизу и контактируют с рабочей поверхностью камнеотборника, а зерно «всплывает» в верхний слой. Поэтому зёрна скатываются под уклон, а галька движется по рабочей поверхности вверх. Эта конструкция камнеотборника обеспечивает практически полное выделение гальки из зерна.

Для выделения из зерновой массы различных магнитных примесей применяют магнитные аппараты, в которых установлены магнитные дуги. Для очистки от различных загрязнений поверхности зерна используют обоечные и щёточные машины (рис. 6.25). Внутри цилиндрического корпуса машины на валу установлен бичевой барабан – из стальных пластин у обоечной машины

или бетонные сооружения располагаются на пойме, а грунтовая плотина перегораживает водоток. В этом случае строительные работы по основным сооружениям ведутся в одном котловане на берегу, что упрощает и ускоряет строительство, увеличивается объём работ по подводящему и отводящему каналам, под котлованы водосброса и здание мельницы (мини-ГЭС).

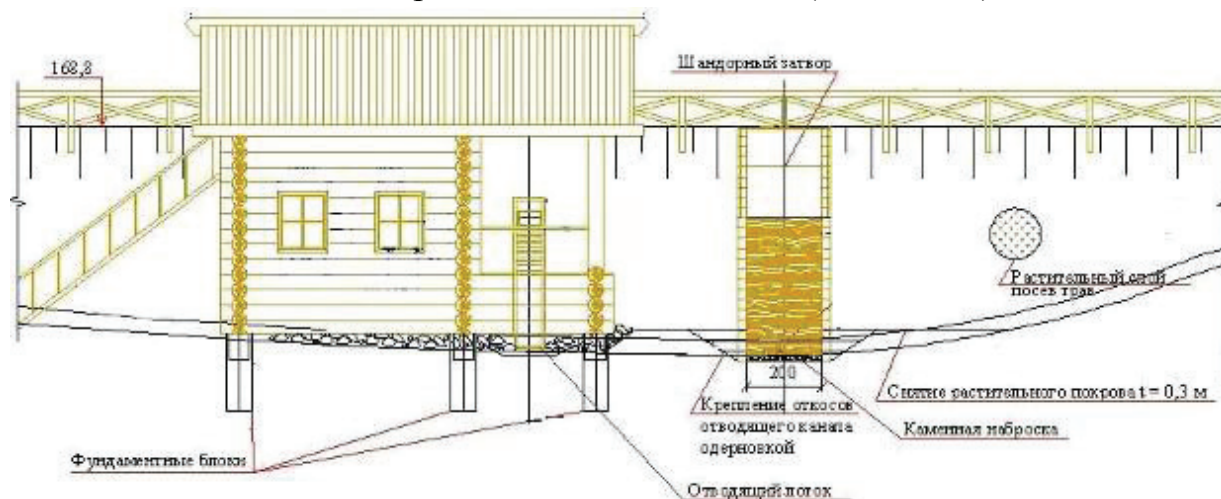


Рис. 2.7. Вид с нижнего бьефа на мельничный гидроузел в усадьбе Чернево, район Бутово, Москва (проект, 2008)

До середины XX в. на территории нашей страны действовало много водяных мельниц и мельничных плотин, большинство из которых имели напоры от 1,5 до 4,0 м. На наиболее крупных реках, где нельзя было построить перегораживающую весь водоток плотину, возводили буны (скрыни), отгораживающие лишь часть реки. Тем самым обеспечивалась бо'льшая скорость подхода воды к водяным колёсам. Часто в таких местах мельницы были также плавучие («плаваки» на Украине). Компоновка мельничного гидроузла включала подвесные водяные колёса и здание мельницы с мельничными поставами, располагавшимися на понтонах или на сваях (рис. 2.8).

В Белоруссии наплавные мельницы ставили на таких широких реках, как Неман, Припять, Днепр. Их возводили на специальных плотках либо баржах, стоящих на якорях – такие своеобразные мельницы-корабли. Поперек них клали горизонтальную ось, на концах которой крепили колесо или 6 - 8 длинных лопастей. На зимнее время эти мельницы отводили в тихую заводь или старицу. Колёса такой гидросиловой установки обычно имели диаметр 3,5...7,5 м, ширину 2,5...5,5 м, мощность от 3 до 14 кВт. Поскольку скоростной напор на реках и каналах не очень большой, то и к.п.д. таких установок был меньше 0,5.

Поскольку в процессе помола для получения муки разных сортов используются сепаратные сита разной густоты, то они различаются по номерам, как это приведено в табл.6.5. (чем выше размер сита, тем мельче отверстия). Длина продолговатых отверстий равна 20 мм, если их ширина не более 2 мм, а затем увеличивается до 25, 30 и более мм.

Таблица 6.5

Мельничные крупочные сита

Продукт	Шёлковые		Капроновые	
	номер	размер отверстий, мм	номер	размер отверстий, мм
1	2	3	4	5
Крупная крупка	71	1,15	7	1,10
	80	1,00	8	1,01
	90	0,90	9	0,87
	100	0,80	10	0,76
	110	0,71	11	0,68
	120	0,63	12	0,62
	-	-	13	0,60
Средняя крупка	130	0,56	14	,56
	140	0,53	15	0,53
	150	0,50	16	0,48
	160	0,45	17	0,44
	170	0,40	18	0,42
	-	-	19	0,41
	-	-	20	0,39
Мелкая крупка	190	0,36	21	0,37
	200	0,32	23	0,33
Дунсты	230	0,28	25	0,29
	-	-	27	0,26
	250	0,25	29	0,26
	-	-	32	0,23
	280	0,22	25	0,27

Вследствие установки сит под некоторым уклоном и их колебательного движения масса с примесями перемещается от начала к концу сита, т.е. от входа в машину к выходу из неё. Частицы, размер которых больше размера отверстий сита, остаются на сите и в конце сходят с него. Таким образом, на верхнем сите отделяют крупные примеси. Зерно вместе с мелкими примесями проходит сквозь отверстия этого сита и поступает на нижнее, отверстия которого подобраны так, чтобы зерно шло сходом, а мелкие примеси – проходом.

В воздушно-ситовом сепараторе (рис. 6.22) обычно имеются 3 сита. Первое из них имеет очень крупные отверстия (обычно круглые, диаметром 12...16 мм) и служит для отбора наиболее крупных - грубых примесей. На двух

направляют в более узкое искусственное русло, проходящее под водяное колесо.

В районах, где отрицательные температуры воздуха и лёд на реках держатся более 4...5 месяцев (Урал, Сибирь и пр.) можно использовать мельницы-«ледянки» [59]. Их устанавливали на прочный лёд, а с наступлением оттепели разбирали и хранили на берегу до зимы. При расположении на участке реки с большим уклоном мощность таких мельниц может достигать 15 кВт и обеспечивать энергией два постава. Конструкция колёс мельниц-ледянок аналогична колёсам наплавных мельниц: лопатки выходят за обод колеса на 0,8 м при его диаметре не более 3,5 м. Поскольку кроме здания мельницы, водяного колеса и постамаenta для жерновов других гидротехнических сооружений строить не нужно, то, несмотря на короткий срок действия, такие мельницы могут оказаться более экономичными (рис. 2.9).

Выбор той или иной компоновки мельничного гидроузла при отсутствии технической документации, фотографических или художественных изображений и архивных описаний, как и любого низконапорного гидроузла производится путём технико-экономического сопоставления вариантов с учётом местных условий. В первую очередь топографических, с учётом особенностей исторического развития и использования водного объекта. Важным признаком выбора створа и состава сооружений гидроузла является социальный фактор, особенно если гидроузел строится для использования малого водотока наряду с интересами других водопользователей и в энергетических целях. Здание мельницы тогда располагается вблизи потребителей электроэнергии, или они могут находиться в самом здании. В этом случае створ гидроузла целесообразно размещать выше или около населённого пункта либо объекта рекреации и ниже наиболее крупных притоков для использования их аккумулярующей способности. При этом необходимо в состав основных сооружений гидроузла включить защитные дамбы и дренажные устройства для отвода фильтрационной воды с подтопляемой территории. Типы и конструкции отдельных сооружений, их состав и взаимное расположение для мельничных гидроузлов на малых водотоках принципиально не отличаются от сооружений низконапорных гидроузлов с малыми ГЭС, поэтому при их проектировании может быть использован мировой и отечественный опыт строительства и эксплуатации исторических и современных гидроэнергетических и водохозяйственных объектов комплексного назначения.

поскольку оставляют в муке частицы камня. Французские жернова для более тонкого и чистого помола. Они обычно не вырезаются из единого монолита, а скрепляются гипсом из кварцевых секций и усиливаются железными обручами. Эти камни производятся на севере Франции, в долине р. Марн.

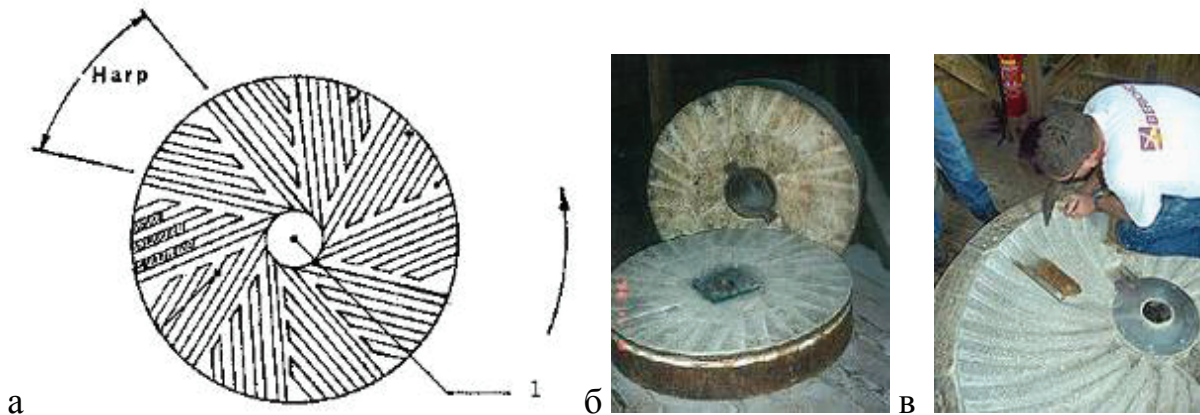


Рис. 6.19. Виды жерновов: а – английский стандартный жёрнов диаметром 4 фута; б – пара французских жерновов; в – подравнивание рельефного рисунка на жёрнове (Турция); 1 – глазок

С изобретением в конце XIX в. вальцового станка жернова практически ушли в историю и применяются очень редко лишь в исторических мельницах. В современных мельницах обязательной составляющей является вальцовый станок, который размалывает зерно при помощи двух чугунных цилиндров с бороздками на поверхности, вращающихся навстречу друг другу с различной скоростью. Зерно равномерно подается в зазор между вальцами, пройдя через которые раскрывается и разделяется на муку и отруби. Для максимального разделения муки и отрубей применяется последовательно до двух десятков вальцовых станков. Каждый раз, перед попаданием на очередной станок из продуктов помола высеивается мука.

6.3. Мельничные машины

Все процессы в мельнице полностью механизированы и выполняются с помощью различных машин. Оборудование мельницы включает:

- технологическое оборудование подготовительного отделения;
- технологическое оборудование размольного отделения;
- транспортное оборудование;
- аспирационное оборудование.

Поскольку зерно, поступающее на мельницу, засорено различными примесями, то для получения муки хорошего качества, особенно при повторном помоле, на мельнице ранее устраивали два отделения: зерноочистительное и размольное. В зависимости от перемалываемого зерна и вида примесей (посторонние растения, поломанное и тощее зерно, мякина,

ГЛАВА 3. ВОДЯНЫЕ КОЛЕСА

3.1. Определение расчётного расхода воды на мельничном колесе

Устройства, в которых энергия воды используется для совершения работы, принято называть **водяными (гидравлическими) двигателями** или **гидросиловыми установками**. Гидравлический двигатель (гидродвигатель) преобразует механическую энергию жидкости в механическую же энергию твёрдого тела, движущегося поступательно (поршня, штока и т.д.), или чаще вращательно (вала). Механическую энергию текущей жидкости можно разделить на три вида: энергия положения, давления и движения. Энергия первых двух видов – потенциальная, последнего – кинетическая [37]. Обычные гидродвигатели используют энергию стекающей по поверхности земли воды там, где её энергия сосредоточена в одном месте в виде разностей уровней двух бьефов, которая называется **напором**. Этот напор может быть, как в природной форме (пороги, водопады и т.п.), так и создан искусственно, при помощи гидротехнических сооружений (плотин, дериваций).

Вода, текущая в руслах рек, непрерывно совершает работу, размывая русло, берега водотока и переносит продукты размыва. Она теряет энергию на преодоление сил трения, не только между частицами воды, но и между водным потоком и руслом. В этом случае удельная энергия жидкости выражается так называемым скоростным напором $v^2/2g$, который и составляет основную часть **напора гидродвигателя**.

Если рассмотреть произвольный участок речного русла длиной L между створами I-I и II-II, в пределах которого сохраняется постоянный уклон, с разностью отметок свободной поверхности воды в начале и конце участка (высота падения) $\nabla A - \nabla B = H_{yc}$ (рис. 3.1б), то работа, совершаемая силой тяжести за единичный промежуток времени dt , будет определяться как

$$dA = \rho g \omega L v \sin \alpha dt, \quad (3.1)$$

где $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение силы тяжести;

$v = \sqrt{2gH_{yc}}$ – средняя скорость течения воды;

$H_{yc} = \nabla A - \nabla B$ – разность отметок свободной поверхности воды в водотоке в пределах рассматриваемого участка длиной L ;

$L \sin \alpha$ – проекция длины рассматриваемого участка на вертикаль (напор $H_{yc} = v^2/2g$).

навстречу друг другу своими выпуклостями. На рис. 6.14 даётся боковой вид жерновов в собранном виде после наковки, где справа видны концы борозд на внешней окружности, а на рис. 6.13 показано, как направлены борозды при наложении бегуна на лежняк. Если же бегун и лежняк положить рабочими поверхностями вверх, то мы увидим направление борозд совершенно одинаковым у обоих камней. По мере срабатывания камней их поверхности восстанавливают повторной насечкой канавок и обработкой всей поверхности рябчиком.

Разметка дуговых линий для борозд делается на рабочей поверхности жернова углём с помощью шаблона, который вырезается из древесины (рис. 6.17). Радиус дуг под борозды берётся равным радиусу внешней окружности жернова. Для получения дуги шаблона прикладывают тесину на краю рабочей поверхности жернова так, чтобы шаблон получился немного длиннее радиуса жернова. При этом карандашом или углём обчерчивают на тесине дугу, придерживаясь окружности жернова. Затем по обчерченной линии тесину обрабатывают. Разделив в соответствии с рис. 6.17 окружность жернова с помощью шаблона на число борозд, наносят линии, придерживаясь дуги. До выборки борозд по линиям, нанесённым углём или карандашом, проходят насеком.

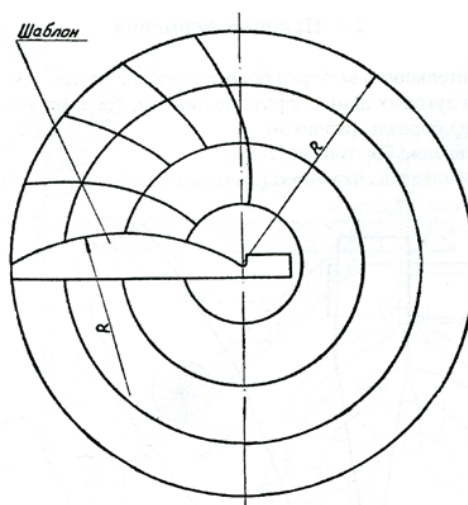


Рис. 6.17. Разметка линий на рабочей поверхности жернова под борозды с помощью шаблона

Подъём и перевёртывание бегуна производилось при помощи специального подъемника. Подъём жёрнова для наковки на многих мельницах раньше производился с помощью лома, клиньев и воротов. Позднее подъём камня стали производить краном. (рис. 6.18). Основной деталью крана является винт с ухватами. Поднятый таким образом жёрнов можно поворачивать при наковке в любое положение.

энергию или мощность невозможно. Отношение полезной мощности установки N к теоретической $N_{yч}$ называется коэффициентом полезного действия η (к.п.д.) гидроустановки. Следовательно, действительная или полезная мощность N водяного двигателя в общем виде будет

$$N = 9,81 \eta H Q, \text{ кВт}, \quad (3.5)$$

или в лошадиных силах

$$N = 1000 \eta H Q / 75 = 13,33 \eta H Q, \text{ л. с.}, \quad (3.6)$$

где η – к.п.д. гидроустановки или данного двигателя, значение которого зависит от его конструкции, размеров и изменяется при изменении нагрузки;

H – разности отметок уровня воды верхнего и нижнего бьефов гидроузла (рабочий напор), м.

Полезная работа двигателя обычно составляет 0,35...0,85 от работы, выполняемой потоком воды. Для повышения к.п.д. он должен по возможности принимать воду без удара, а выпускать практически без скорости.

Гидравлические двигатели, приводимые в действие течением и падением воды, подразделяются на два основных типа: водяные колёса и турбины. В обоих типах есть двигатели, на которые вода действует весом, в других – течением («живой силой»), а в некоторых двигателях используется и то и другое. Малые гидроустановки обычно используют практически около 65% теоретической мощности водотока, т.е. их к.п.д. $\eta \approx 0,65$. Таким образом, полезная мощность такой гидроустановки ориентировочно может быть определена из следующего выражения

$$N = N_{yч} \eta = 9,81 H Q 0,65 \approx 6,5 Q H \quad (3.7)$$

На рисунке 3.2 представлены три основных вида гидродвигателей. Наливное водяное колесо (а) вращается потому, что одна наполненная водой половина тяжелее другой. Кинетическая энергия воды заставляет вращаться колесо турбины (б), а давление воды на поршень заставляет его двигаться вверх (в).

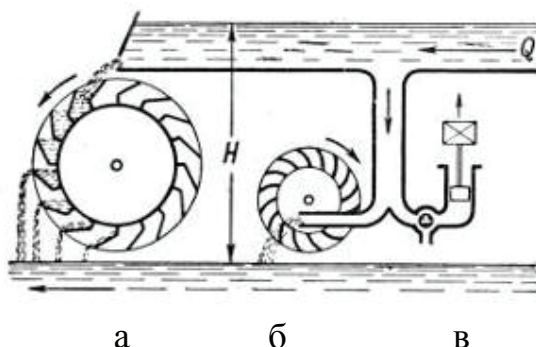


Рис. 3.2. Схемы гидродвигателей, использующих преимущественно один из трёх видов энергии: а – водяное колесо; б – гидротурбина; в – гидротаран

До XVIII столетия не существовало теории и расчета водяных двигателей, а потому их производство осуществляли лишь отдельные мастера.

шириной 20...45 мм каждая. Глубина их уменьшается при удалении от глазка с 13 до 6 мм, ширина находится в пределах 20...45 мм. Бороздки подразделяются на главные и второстепенные. Их количество определяется диаметром жернова и заданной тонкостью помола. При грубом помоле число канавок (бороздок) меньше, и они глубже (табл. 6.5).

На лежняке бороздки располагаются зеркально по отношению к бороздкам бегуна, таким образом, что при работе жёрнова они создают эффект ножниц. Бороздки имеют острую и пологую кромки. Причём острая кромка бороздок должна быть направлена по ходу вращения жернова. Стенки бороздок образуют тупой угол. Поскольку при вращении жернова продукт должен выходить из бороздок на рабочую поверхность, то вторая грань бороздки и должна быть полой (рис. 6.14).

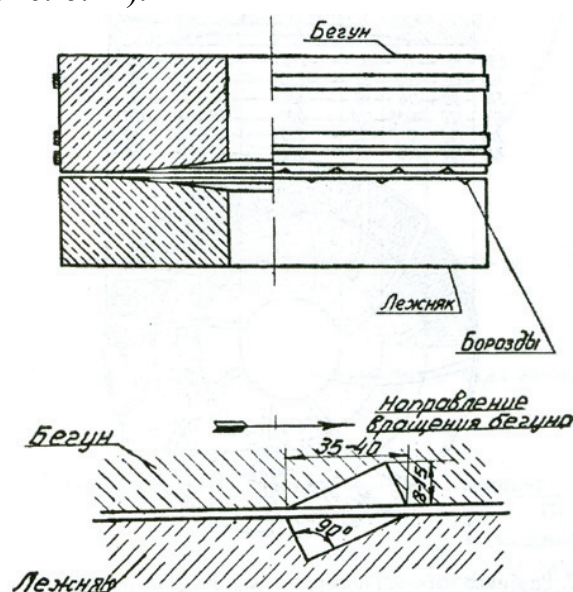


Рис. 6.14. Боковой вид жерновов в собранном виде после наковки [29]

6.2.3. Наковка жерновов

Нанесение бороздок на поверхность жернова подчиняется строгим правилам. Наиболее простой является прямолинейная насечка, более совершенной – дуговая. Предварительно для нанесения бороздок рабочая поверхность камней разбивается на три пояса: первый вокруг глазка называется двором, второй – поддвором (крупняком), третий (крайний) – мелющим. Ширина этих поясов дана на рис. 6.15 для разных размеров жерновов, применяемых в практике сельского мукомолья [29].

появления первых электростанций, потребность в энергии воды лишь усиливалась. Было построено большое количество относительно высоких плотин. Конструкции водяных колёс сильно изменились, постепенно преобразуясь в лопасти водяной турбины (рис. 3.3).

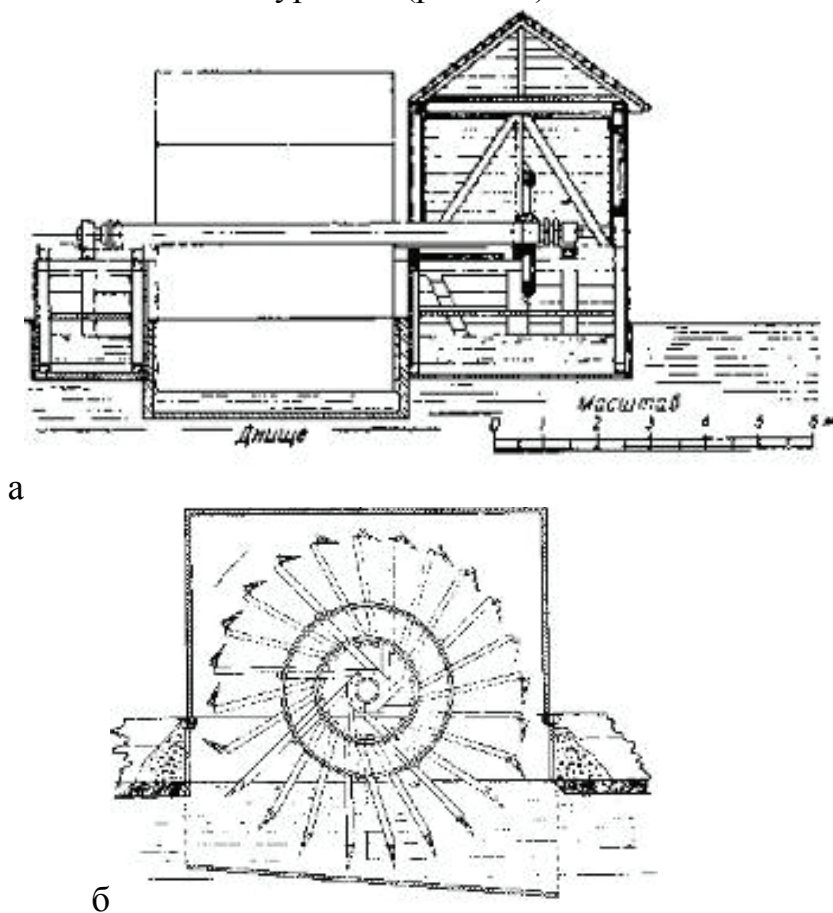


Рис. 3.3. Свободнопоточная гидросиловая установка байдачного типа (а) с водяным колесом (б), модернизированным по проекту Б. Б. Кажинского и С. И. Котельникова, премированному на конкурсе Наркомзема в 1926 г.

Энергию же потока, падающего благодаря созданию напора с помощью плотины, используют в основном для получения электрического тока. При этом современная турбина ГЭС, так же, как когда-то колесо старинной водяной мельницы, вращается потоком падающей воды, а генератор, подсоединённый к её колесу вместо каменных жерновов, вырабатывает электроэнергию.

3.2. Классификация мельничных водяных колёс и рекомендации по выбору типа колеса

Появление первой водяной мельницы предварило изобретение водяного двигателя. Раньше, примерно в 1500 году до н.э., вода в каналы и на поля подавалась с помощью водочерпалок — **шадуфа** или **черда**, водоподъемных устройств в виде качающегося на стойке шеста, на одном конце которого навешивался другой шест или веревка с кожаным мешком. Предположительно

Соотношение материалов для изготовления жерновов, %

Материалы	Наждачный	Полунаждачный		Кварцевый
		нормальный	Особо твёрдый	
Наждак	74	32	30	-
Кремень кварцевый	-	41	43	70
Магнезит	13	13,5	13,5	15
Хлористый магний	13	13,5	13,5	15

Изготовление жёрнова необходимо вести в теплом помещении. Жёрнов далее выдерживают в течение 4...14 суток для схватывания материала и просыхания. Затем удаляют опалубку и приступают к обработке рабочей поверхности.

Верхний камень (бегун) изготавливают толщиной 400 мм, нижний (лежняк) – 300 мм. При диаметре 1000 мм их масса составляет: бегуна – 570 кг, лежняка – 430 кг. Для их перемещения и установки применяют простой кран с дуговым захватом; с этой целью при изготовлении жёрнова в двух противоположных по диаметру местах камня устраивают отверстия диаметром 30...40 мм, глубиной около 100 мм, посредством установки в опалубке трубок соответствующего размера. Для прочности жернова оковывают хомутами из стальных полос.

Перед пуском мельницы в работу жернова должны быть выверены и одинаково отбалансированы. Правильное взаимное расположение камней важно для обеспечения помола муки высокого качества. Рабочие поверхности лежняка и бегуна должны быть горизонтальны и параллельны. Лежняк выверяют с помощью уровня, а бегун – специальными грузами, которые закладывают в гнездо камня. При правильном положении бегуна кусочек мела или угля, подведённые к боковой поверхности бегуна при его медленном вращении, очерчивают полную окружность. При отсутствии возможности выверить бегун проверяют правильность положения балансира.

Жернова, опирающиеся на веретено плоской параплницей, после обработки рабочей поверхности выверяют с помощью приспособления, выполненного в виде рамки из деревянных брусков (рис. 6.12). При помощи штифтов, пропущенных сквозь отверстия в брусках рамки, проверяют правильность положения веретена, вставленного в параплницу жернова пято'й вверх, для исправления положения выбирая гнёзда в камне под параплницей.

зарегистрировано более 335000 водяных колёс с выходом энергии от каждого от 0,75 до 75 кВт. Интересно, что водяные колёса разрабатывались даже после изобретения в 1824-1834 гг. гидротурбин (рис. 3.5) [47].

В древности водяные колёса использовались в основном для помола зерна – трудоёмкого процесса, который при работе вручную занимал не менее 2...3 часов. **Водяное колесо (waterwheel)**, преобразующее механическую энергию водного потока в механическую же энергию вала и бегуна жернового постава, являлось главенствующим управляющим всей работой элементом водяных мельниц и мельничных гидроузлов (рис. 3.6). Оно, преобразуя энергию бегущей воды (кинетическую и потенциальную) в полезную механическую энергию, тем самым управляет мельницей. При этом вращательное движение колеса обеспечивается за счёт воздействия на его лопасти воды, которая либо падает на последние сверху, либо течёт сквозь них сверху, посередине или снизу.

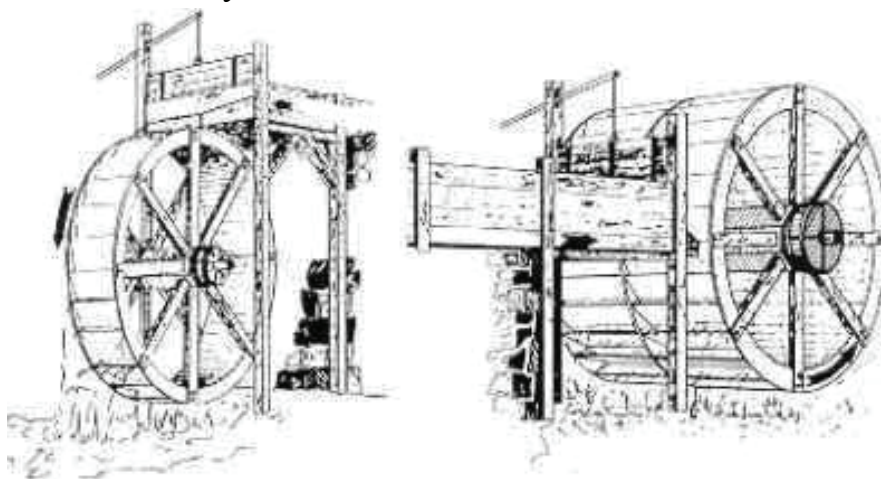


Рис. 3.5. Водяные колёса – изобретение Лоренцо Адкинса. 1839 г.

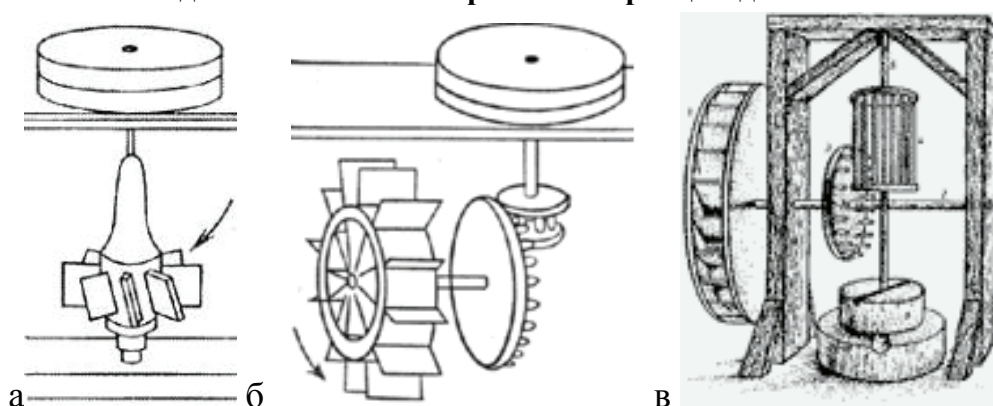


Рис. 3.6. Схемы простейших водяных колёс: а – с вертикальным валом; б - колеса Витрувия с горизонтальным валом; в – водяная мельница Древнего Рима по рисунку Витрувия

Соответственно этому принято подразделять водяные колёса на: **наливные** (верхненаливные, верхнебойные), **средненаливные** (полуналивные,

песчаника ранее особенно ценились жернова Подольские (Подольск, М.О.) и Путиловские (Глухов, Сумской обл.). Они отличались равномерной структурой. Размеры жерновов принято было измерять четвертями (~178 мм) (табл. 6.3 и 6.4).

Таблица 6.3

Основные характеристики жерновов

Название жернова	Диаметр, четверть	Диаметр, мм	Производительность, т/час		Мощность привода, кВт
			Грубый помол	Тонкий помол	
пятерик	5/4	890	0,53	0,25	7,5
шестерик	6/4	1065	0,45	0,35	10,0
семерик	7/4	1244	0,60	0,45	14,0
восьмерик	8/4	1425	0,70	0,50	18,0...21

Таблица 6.4

Характеристики жерновов по П. Ларионову [49]

Название жернова	Радиус ечи, вершки	Радиус двора, вершки		Число борозд, шт.		Радиус размалывающей поверхности, вершки	Число оборотов, об/мин
				круглых	ёлочкой		
шестерик	5 2	3,5	25	32		6	160
семерик	5 2	4	30	40		7,5	150

Изготовление жерновов из естественного камня требует высокой квалификации мастера-каменотеса. Песчаниковые камни обыкновенно изготавливаются цельными. Вырубленный камень укладывают на подставку из деревянных брусков так, чтобы поверхность была расположена приблизительно горизонтально. Затем скалывают неровности верхней поверхности, которая будет рабочей. Окончание обработки проверяют по уровню. После этого обрабатывают боковые поверхности так, чтобы получился правильный цилиндрический камень: правильность обработки проверяют угольником. Затем, перевернув камень, обрабатывают его нижнюю поверхность. До окончательной отделки камня прорубают «глаз» жёрнова. Для окончательной отделки верхней (рабочей) поверхности на нее накладывают специальное приспособление – «правило», деревянную либо металлическую линейку, смазанную краской. При вращении этого приспособления вокруг оси жёрнова

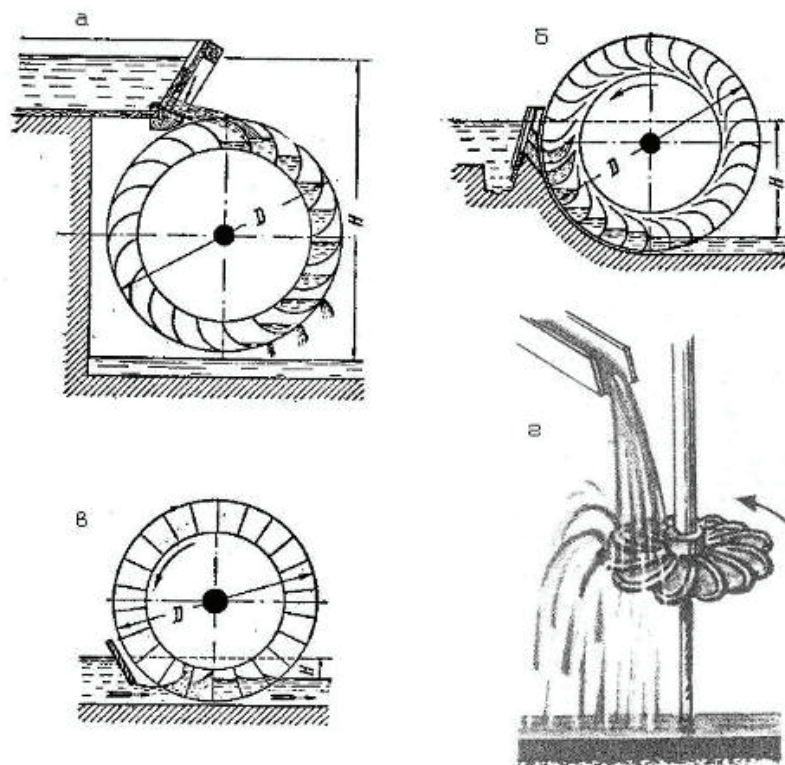


Рис. 3.8. Основные схемы мельничных водяных колёс: а – верхненаливного; б – средненаливного; в – нижнебойного; г – мутовчатого

Небольшое горизонтальное колесо с лопастями укреплялось на нижнем конце вертикального вала. Верхний конец вала соединялся непосредственно с жерновом, без шестерён. Такие маломощные мельницы (менее 1 л. с.) были широко распространены на Урале и в других местах России еще в XVI в. Их к.п.д. составлял всего 0,05...0,15. Поэтому мельницы с горизонтальными колёсами было трудно приспособить для каких-либо иных целей, кроме как для помола зерна. Хотя горизонтальные (лежащие) колёса и были значительно легче, удобней и надёжней в работе, чем вертикальные, но конструкция гидравлических двигателей с горизонтальными колёсами в те времена была ещё несовершенной, т.к. последние устанавливались в открытом потоке без каких-либо приспособлений, ограничивающих направление движения воды. Это в значительной мере ухудшало гидравлические условия работы горизонтального колеса, т.к. оно обтекалось потоком воды со всех сторон. Другими существенными различиями горизонтальных и вертикальных колёс являлись их конструкция, частота вращения, материалы изготовления и многие другие показатели.

На равнинных реках обычно использовались колёсные мельницы («немецкие» или «римские») с вертикальным водяным колесом, насаженным на вал. Наибольшее распространение среди них получили два типа колёс: **подливные и верхнебойные** (черпаковые). Вертикальное колесо крутилось,

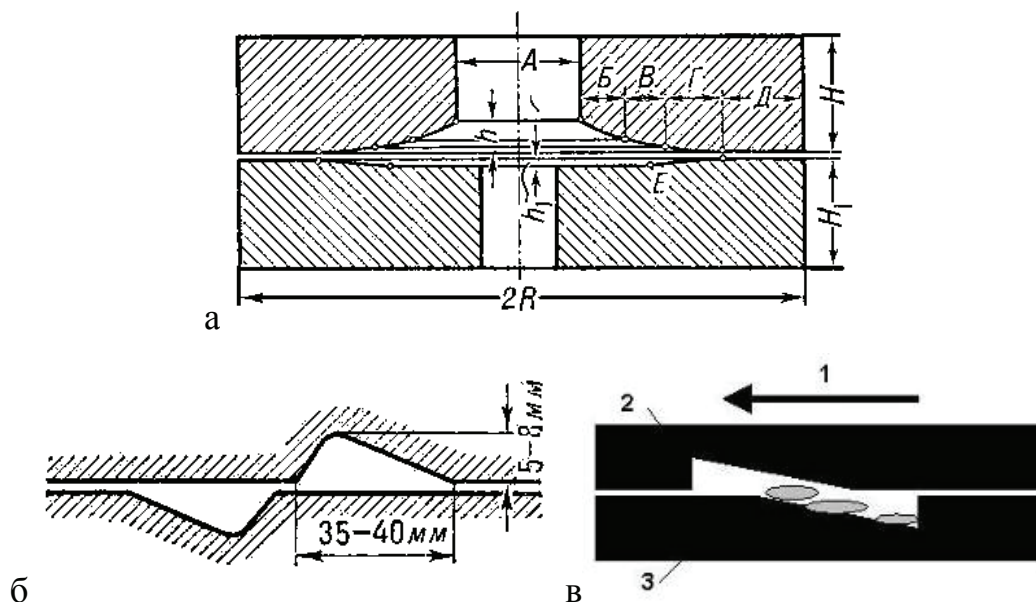


Рис. 6.11. Рабочая поверхность (а), профиль бороздок жерновов (б):

А – отверстие (глаз), через которое поступает продукт; Б+В – пояс (глоток), служащий для предварительного измельчения продукта; Г+Д – мелющий пояс (полоз); Е – отверстие в нижнем жёрнове; $2R$ — диаметр; H и H_1 – высота верхнего и нижнего жёрнова; h и h_1 — высоты рабочих поверхностей; в – схема работы жерновов: 1 – направление вращения; 2 – бегун; 3 – лежняк

Жернова представляли собой круглый обтёсанный естественный или искусственный камень из мелких частиц твёрдых горных пород. На рабочих поверхностях обоих жерновов делали кованные бороздки (канавки, дорожки) или синусоидальные канавки, идущие по спирали от центра к краям жернова в виде радиальных кривых. Например, на жернове диаметром 2 м таких канавок было 12. Размеры главных бороздок жерновых камней приведены в табл. 6.2. Для равномерного мягкого размола зерна надо было бороздки периодически ковать, т.е. углублять.

При вращении верхнего жёрнова зерно из бункера попадало через специальное отверстие, сделанное в центре подвижного камня – **глаз (ечая)**, в небольшой деревянный желобок и сыпалось в центр жернова. Ечая бегуна делалась от 5 до 7 вершков [49]. Зерно, падая в ечая, попадало во «двор» и, увлекаемое быстрым вращением бегуна, под действием центробежной силы подходило к внешнему краю двора, где разбивалось на 3...5 частей (в крупу). Крупа под действием той же центробежной силы шла спиралью по размалывающей поверхности, бороздами и тёркой, разбиваясь в муку. Приблизившись к внешним краям размалывающих поверхностей, мука ссыпалась от центра жёрнова в проём обечайки и собиралась в пространстве между нижним жёрновом и обечайкой (верхним кожухом). Ниже находился специальный ящик, в который сыпалась мука, когда открывалось специальное прямоугольное отверстие, и по лотку попадала в мешки. Качество и тонкость

применялись. Изготовление колеса не требовало значительных затрат или особой квалификации. В дальнейшем водяное колесо стали применять для другого энергоёмкого процесса, выполняемого рабами вручную – размол зерна в зерновых мельницах (рис. 3.10,б). Размол зерна в большинстве мельниц с водяным колесом происходил с помощью жерновов. Зерно поднималось наверх, откуда по желобу его ссыпали в жернова, а затем готовую муку по другому жёлобу высыпали в мешок. В отличие от ручных мельниц новые стали называть водяными (для аналогичной цели использовались также и ветряные мельницы), а затем понятие «мельница» стало распространяться и на другие производственные процессы. Позднее их стали использовать для других целей: для привода лодок (гребные колёса) и других механизмов, для забора и подачи воды (нория) различным потребителям, для переработки разнообразных веществ на заводах и в индивидуальных хозяйствах, в различных отраслях производства (водяные мельницы).

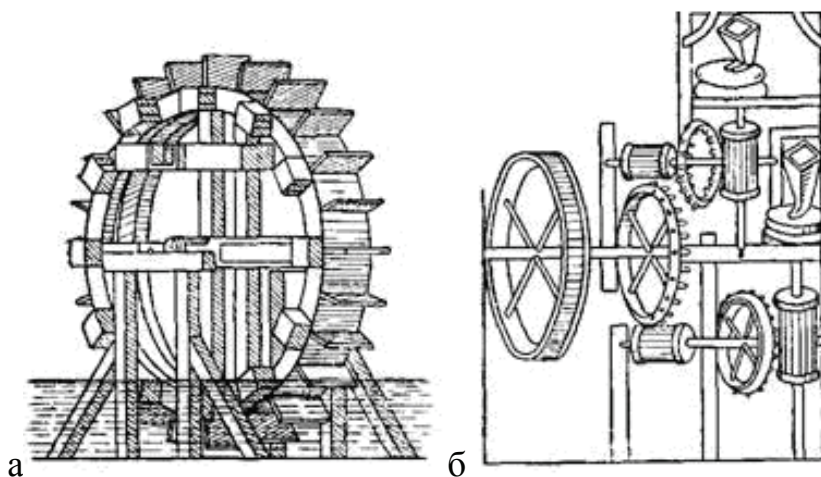


Рис. 3.10. Схемы водяного колеса: а - с черпаками на ободе, установленного в русле водотока на сваях; б – с приводом к двум мельничным поставам

Изначально владельцы, изобретатели и строители мельниц рассматривали колёса как эффективный и коммерчески выгодный источник энергии. Они применялись для выполнения разных работ: помола и просеивания зерновых культур и круп (крупорушки, просорушки и т.п.), обработки конопли, резки брёвен (лесопилка), изготовления бумаги, заточки инструментов, дубления кожи, чесания шерсти,ковки железа, в пивоварении, маслобойном и сукновальном деле, переработки пороха и минеральных ископаемых и т.д. (рис. 3.11).

В средние века водяные колёса разрабатывали Леонардо да Винчи и его современники: Марианн Яков, Георг Агрикола, Байер и др. Первые водяные колеса целиком делались из дерева, а в период Возрождения в них стали широко использоваться отдельные железные детали. В России по мнению Павла Йовия, посетившего Москву в 1525 г., до XVI в. применялись, в

ослы или лошади. Тесто замешивалось в машине, также приводимой в движение лошадыю. Выпечка хлеба шла непрерывно в двух печах.

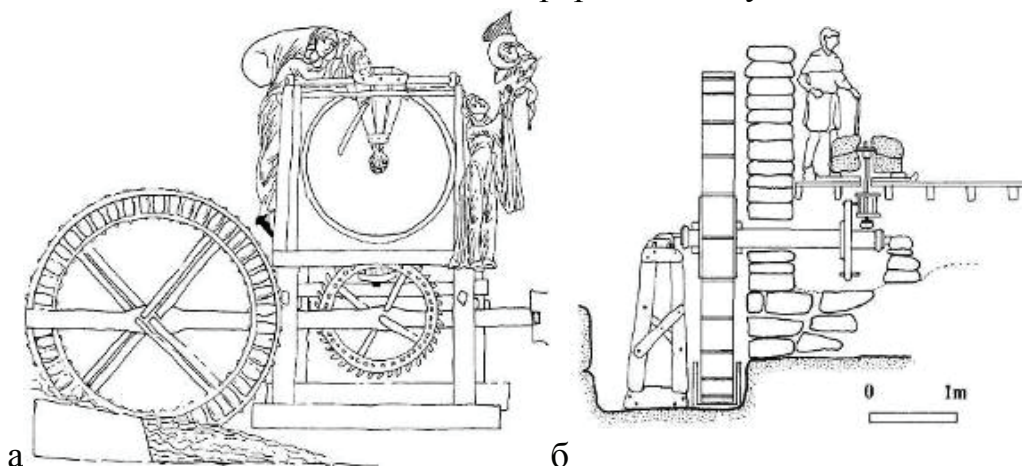


Рис. 6.9. Использование водяного колеса и жерновов для помола: а – самый древний чертёж мельницы с подливным колесом (по Н.А. Пономарёву); б – жернова в древнеримской мельнице из камня

Использовались и одноконусные поставы с тяжелыми жерновами. Во II - IV вв. н.э. такие жернова были заменены плоскими камнями с насечкой. Затем, увеличенные в размерах, они стали главной составной частью водяных и ветряных мельниц. Жернова огораживались кожухом. Часто жернова помещались на массивном полоке, настелённом примерно на высоте плеч в половине амбара. Схемы и состав поставов мукомольных водяных мельниц были аналогичны и различались только некоторыми деталями, например, размерами, системой и конструкцией крепления коробов (рис. 6.10). Верхний короб – приёмник зерна (ковш) часто неподвижно закреплялся к поворотным столбам с рамой. Способы крепления и наклон нижнего (малого) короба – дозатора были разными. Часто его постоянное сотрясение обеспечивал пружинно-возвратный механизм, состоящий из палки-сторожка: можжевелевой палки-пружины и эксцентрика, закреплённого в верхнем жернове, об выступы которого и «спотыкался» сторожок [40].

Жерновые поставы водяных мельниц представляли собой достаточно сложные механизмы. Чаще использовались поставы из парно работающих жерновов с вертикальной осью: вращающимся верхним камнем – **бегуном** и нижним неподвижным – **лежняком** (рис. 6.11).

Конструктивно вертикальные водяные колёса разделяются на три большие группы: **наливные (верхненаливные, верхнебойные), средненаливные (среднебойные, полуналивные) и подливные (пошвенные, нижнебойные)** [8, 29]. Деление колёс на эти группы основывается на способе подвода воды к колесу, или высоты падения воды (из русла или из плотины, запруды) на окружность колеса (рис. 3.13). Между этими основными типами колёс существует большое количество промежуточных форм. Области применения водяных колёс и их характеристики приведены в табл. 3.1., заимствованной из [59].

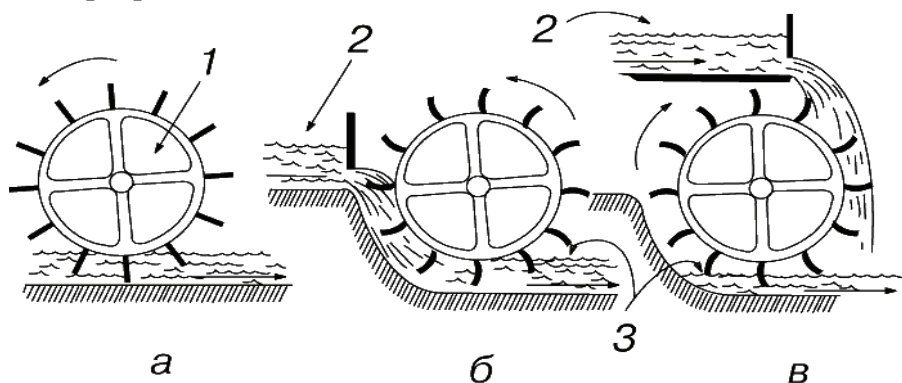


Рис. 3.13. Схемы трёх основных видов вертикальных водяных колёс: а – подливное (пошвенное); б – средненаливное; в – верхненаливное, 1 – вал; 2 – уровень воды в верхнем бьефе; 3 – уровень воды в нижнем бьефе

На конструкцию и габариты колеса влияет значение напора на плотине, способ воздействия воды на колесо и расход воды, поступающей на него (см. табл. 3.2). Обычно мощность простейшего водяного колеса не превышала нескольких десятков киловатт, число оборотов небольшое (примерно от 1 до 12 об/мин), к.п.д. в зависимости от конструкции колебался от 0,3 до 0,85.

Изучение водяных колёс с целью увеличения их к.п.д. началось лишь в XVIII в. В основном этими вопросами занимались иностранные учёные: Борд, Де-Парсие (1754 г.), Смитон (1759 г.), аббат Боссю (1777 г.), Смитон (1813 г.), Понселе (1825 г.), Редтенбахер (1846 г.), Сабержен (1858 г.), Цуппингер (1860 г.), Колладон, Ягн, Ферберн, Вис, Эшер и др. До 1939 г. рядом авторов были опубликованы учебники, раскрывающие аспекты разработки и расчётов водяных колёс (Брессе, 1876 г., Бах, 1886 г., Мюллер, 1899 г., Фризел, 1901 г., Мюллер, 1939 г., Зотов Н.К., 1927 г., Каофенгофер, Афанасьев, Штурм, Милютин, Шишкин и др.). Эти исследования продолжаются и по сей день [28].

Принцип размалывания зёрен для получения муки при помощи жерновов сохраняется на протяжении тысячелетий (рис. 6.7). Использование ручных мельниц с двумя жерновами было известно уже за 1600 лет до Рождества Христова, о чём упоминается в книгах Моисея. Сначала технология была проста: зерно растирали между двумя камнями, т.е. мололи зернотёрками, дробили пестом в ступах. Прimitивный ручной жерновой постав с вращающимся верхним камнем, имеющим углубление и отверстие для подсыпки зерна, появился в Греции в VIII - VII вв. до н.э.

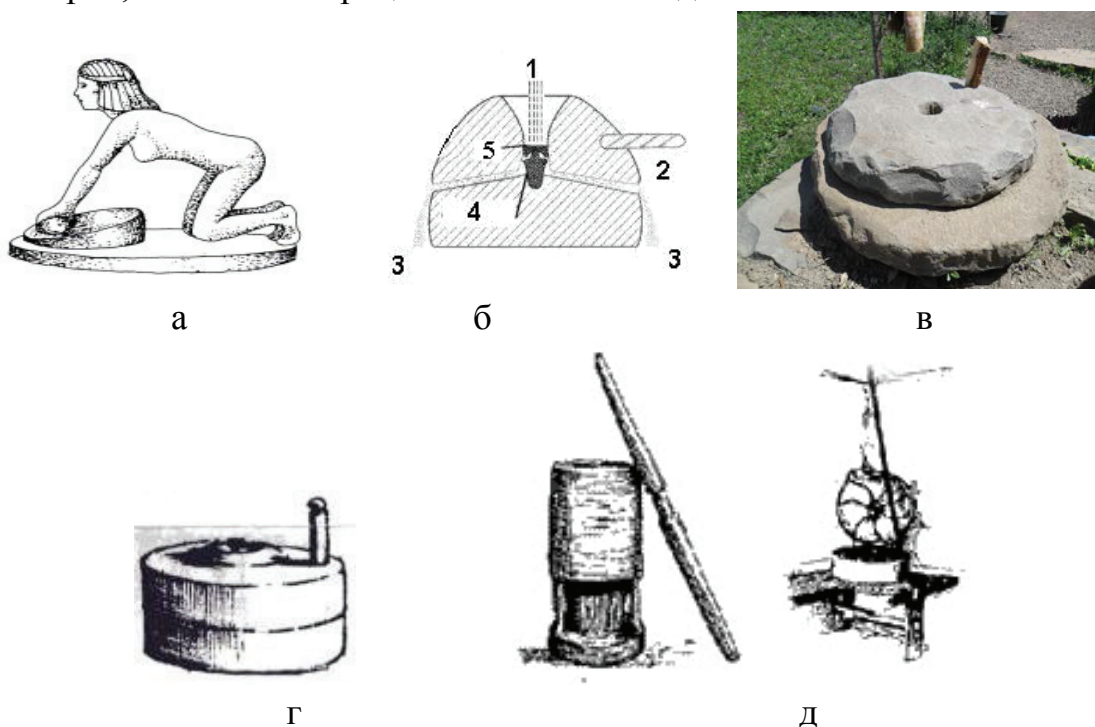


Рис. 6.7. Получение муки ручным способом: а – растирание на камне-седле «Мюллер» (возраст 2300 лет); б – романо-британская ручная мельница II в. до н. э.; 1 – зерно; 2 – рукоятка; 3 – мука; 4 – шпиндель (вал); 5 – глазок; в – ручная мельница в Агульском районе Дагестана; г – современная индийская ручная мельница; д – мукомольные орудия Пермской губернии XIX в

Жёрнов (millstone, жернов) – круглый обтёсанный естественный или искусственный камень в виде дисков, служащие для перетирания зерна в муку. Он является основным рабочим органом жернового постава (рис.6.8). **Постав** – это комплект мельничного оборудования для размола зерна или крупы. В него могли входить: жернова в обсадке с коробами, колёсный привод с шестернями, люк для засыпки зерна, рукава для выхода муки, ящики для муки и т.д.

Таблица 3.1

Основные характеристики и области применения водяных колёс и первых турбин [59]

Тип колеса	Напор воды, м	Расход воды, м ³ /с	Скорость по окружности колеса, м/с	Диаметр колеса, м	Частота вращения, об/мин	К.п.д. водяного колеса	Чи сло рабочих шестерён	К.п.д. зубчатой передачи	Общий к.п.д.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вертикальные колёса									
Наливное при напоре: большом среднем малом	7,5-12	0,04-0,045	1,5	$H - 4 \frac{V^2}{2g}$	6-10	0,65-0,75	2	0,72-0,80	0,43-0,60
	5-12 2,5-5	0,06-0,7 0,07-1,0	1,5 1,5	2,0-8,0		0,60-0,65 0,50-0,60			
Наливное среднебойное	3-9	0,08-0,70	1,4	(1,3-4)H		0,60-0,70			
Полуналивное: с подводной решёткой с водосливом с щитовым окном	2,5-5	0,10-2	1,5	5,0-8,0	8-12	0,60-0,75	2	0,72-0,8	0,36-0,56
	1,5-3	0,10-2	1,5	(1,8-2)H (2,5-3)H		0,55-0,60			
	0,9-18	0,10-3	1,8	(3-5)H		0,40-0,50			
Подливное с лопастями: плоскими криволинейными	1,2-4,5	0,2-4,0	$\sqrt{2gH}$	3,0-7,0	5-10	0,30-0,35	2	0,72-0,8	0,22-0,28
	0,3-2	0,2-4,0	$\sqrt{2gH}$	4,3-7,0 4H		0,60-0,65			
Подливное висячее	-	0,7-3,5	$\sqrt{2gH}$	3,7-5,2		0,2-0,3			
Колесо Сажебьена	0,6-2	0,4-6	0,9	2H, 2,8-3,7		0,6-0,7			
Колесо Цуппингера	0,6-2,5	0,1-2,5	1,2	(2-2,5)H		0,6-0,65			
Горизонтальные колёса									
Мутовчатое (веретенное)		1,0-3,0		1,0-1,8	45-120	0,4-0,6			

требуются большое лобовое колесо и шестерни. Заготовка и изготовление мельничных элементов таких крупных габаритных размеров сопряжены с рядом трудностей и неудобств при их размещении и установке на место. Так, лобовое колесо, рассмотренное в примере, потребует высоту помещения не менее 5 м. Поскольку мельничные поставы располагаются выше зубчатых колёс, то общая высота здания, обычно двухэтажного, должна быть значительно увеличена, что приведёт к значительному удорожанию всего здания мельницы. Для использования простой передачи в этом случае лучше сделать два мельничных постава с отдельными водяных колесами, каждый мощностью 9 л.с.

Поэтому в большинстве случаев, и особенно при расположении на мельнице двух и более поставов, целесообразнее применять **сложную или двойную** передачу (рис. 6.6).

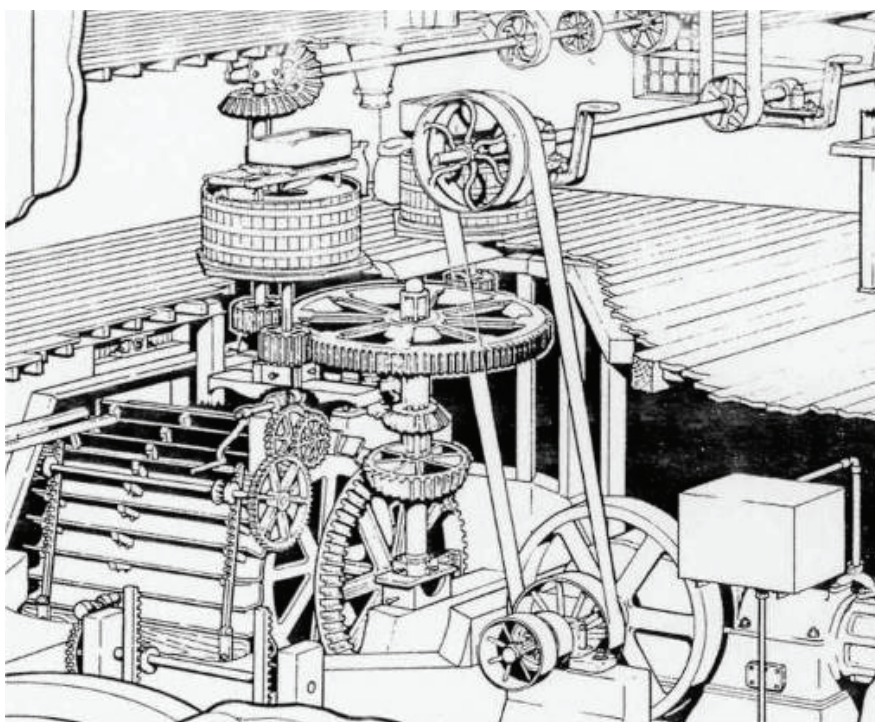


Рис. 6.6. Размещение основных передаточных механизмов в здании водяной мельницы-фабрики «Letheringsett» в Норфорке

Для передачи крутящего момента с горизонтальной оси на вертикальную также необходимо применять две передачи. В этой схеме на ось водяного колеса насаживается гребневое колесо (или шестерня), по обеим сторонам которого находятся цевочные шестерни. Гребневая шестерня, сцепляясь с ними, передаёт движение каждому лобовому колесу (или конической шестерне), сидящими с цевочными шестернями на одном деревянном валу. Лобовое колесо зацепляется с соответствующей цевочной шестернёй, находящейся на веретене мельничного постава. При такой передаче лобовые и

размеров: диаметром $1\frac{1}{2} \dots 2\frac{1}{3}$ саж. и $1 \dots 2\frac{3}{4}$ сажени шириной. Высота лопастей и расстояние между ними должны быть в пределах 11...18 вершков. По рекомендациям [59] диаметр колеса целесообразно принять не менее шестикратной длины лопастей (длина плиты бывает от 50 до 107 см).

Есть несколько причин того, что к.п.д. таких колёс не очень велик (менее 0,5): часть натекающего на колесо потока проходит насквозь мимо его лопастей; вода покидает колесо с достаточно высокой скоростью; много энергии теряется при передаче от тихоходного двигателя к многооборотной машине-орудию [33, 37].

Максимальная работа водяного колеса может быть получена, если скорость его вращения V_k будет равна $0,5v$. Мощность водяного колеса в лошадиных силах может быть определена как

$$N = 0,272 \Omega v^2, \text{ л.с.}, \quad (3.8)$$

где Ω - площадь погружённой в воду части каждой лопасти, м^2 ;

v - скорость течения воды в водотоке, м/с .

По расчётам Н.М. Щапова [37] мощность потока, приходящаяся на 1 м^2 поперечного сечения русла реки, составляет порядка $0,5 v^3$ кВт. При скорости $1 \dots 2 \text{ м/с}$ сечение в 1 м^2 пропускает мощность $0,5 \dots 4$ кВт. Чтобы подвести к генератору 10 кВт надо использовать двигатель, занявший сечение площадью не менее $5 \dots 40 \text{ м}^2$. Если представить это сечение в виде круга – водяного колеса диаметром в пределах $2,5 \dots 7 \text{ м}$, то глубина водотока должна быть достаточно большой – не менее $4 \dots 10 \text{ м}$. Это подтверждает целесообразность и возможность установки таких колёс лишь на очень быстро текущих реках.

Недостатками подвесных колёс являются: их малая мощность, тихоходность и громоздкость; зависимость их работы от уровня воды в водотоке (они то будут слишком глубоко погружены под воду, то в некоторые периоды могут оказываться полностью над водой); достаточно сложный механизм передачи. Достоинства таких колёс: рабочий вал и механическая передача расположены выше уровня свободной поверхности воды, т.е. на воздухе; захват большого по ширине и умеренного по глубине потока.

Пример: Необходимо подобрать габариты водяного колеса, чтобы оно делало 6 об/мин при скорости течения воды в реке 4 м/с .

Поскольку оптимальная скорость вращения колеса $V_k = 0,5v$, то середина лопасти колеса должна двигаться со скоростью 2 м/с , или 120 м/мин . При этом каждая лопасть, в соответствии с исходными данными, должна 6 раз переместиться по окружности длиной $L = 120:6 = 20 \text{ м}$. Радиус этой окружности составит $R = L/2\pi$, что равно с учётом округления около 3 м . Тогда радиус всего колеса будет равен $3 \text{ м} + 0,5$ высоты лопасти. Для введения такого руслового двигателя в реку она должна иметь глубину не менее 4 м .

устанавливать чаще, так как водяные колёса делают малое число оборотов, а механизмам мельницы требуется значительное.

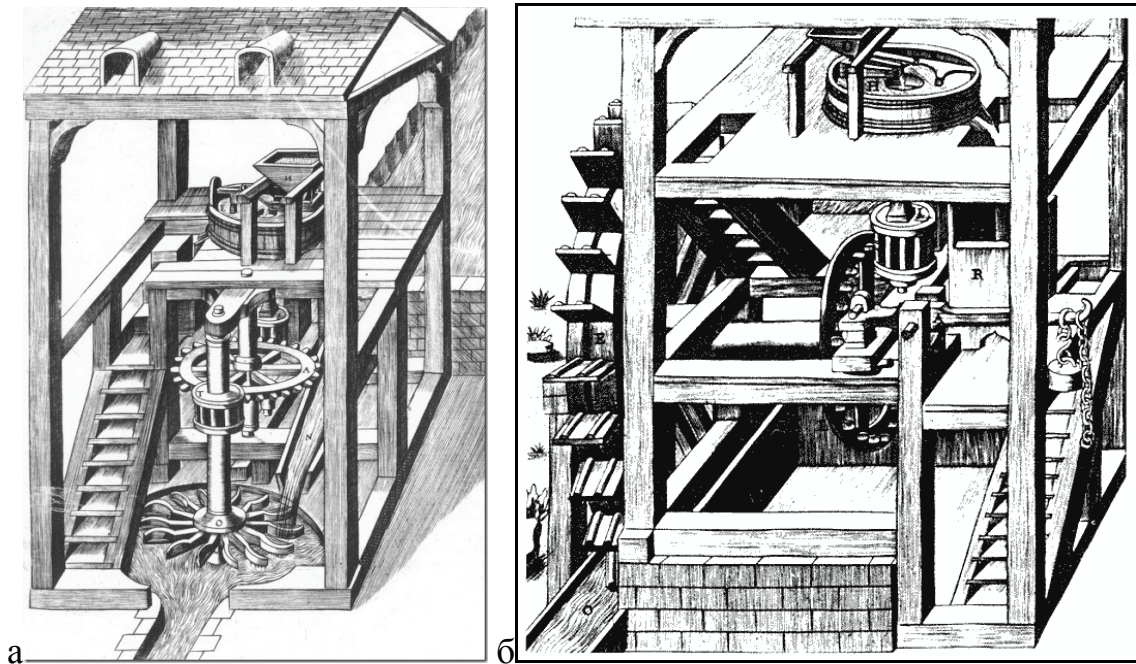


Рис. 6.4. Компонировки зубчатых колёс на водяных мельницах XVII в.: а – с мутовчатым колесом; б – с большим подливным колесом, заставляющим вращаться два зубчатых колеса, посредством которых вращение в вертикальной плоскости преобразовывалось во вращение в горизонтальной плоскости

Простая или одиночная передача состоит из зубчатого лобового колеса или шестерни, насаженной на ось водяного колеса и непосредственно зацепляющейся с цевочной шестернёй, которая находится на веретене постава (рис. 6.5). Для успешной работы и получения большей производительности мельничного постава первая должна иметь по возможности больший диаметр, а вторая – очень маленький. При этом следует учитывать, что раньше на практике на цевочных шестернях допускалось не менее 6...8 цевок, длина которых составляла 250...330 мм. Расстояние между центрами зубьев или шаг зацепления по опыту эксплуатации принимался равным 102 мм (4 дюйма). Толщина цевки делалась обыкновенно равной $4/7$ от шага зацепления, т.е. $4/7 \times 102 = 58$ мм.

Поскольку число зубьев должно быть обратно пропорционально числу оборотов шестерни, то число зубьев ведущего лобового колеса или шестерни, сидящей на оси водяного колеса $n_{злш}$, равно

$$n_{злш} = n_{цш} n_{ц} / n_{лш}, \quad (6.1.)$$

где $n_{лш}$ – число оборотов ведомой цевочной шестерни в минуту; $n_{ц}$ – число цевок, шт.; $n_{лш}$ – число оборотов лобовой шестерни в минуту.

3.3.2. Мутовчатые колёса

Большинство водяных колёс в России, Германии, Великобритании, Соединённых Штатах Америки, Голландии и других странах, как использовавшихся ранее, так и работающих в настоящее время мельниц – вертикальные, вращающиеся относительно горизонтальной оси. Вместе с тем, например, в шотландском нагорье и в некоторых районах южной Европы, начиная с XVI—XVII вв., в мельницах часто устраивали горизонтально расположенные колёса с вертикальной осью вращения (рис. 3.17).

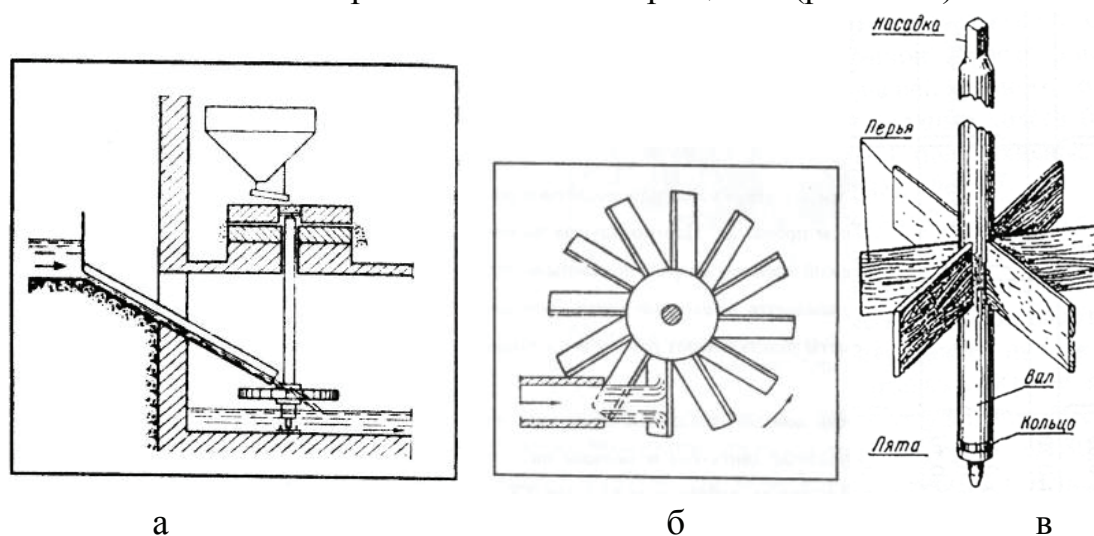


Рис. 3.17. Схема мутовчатой мельницы [37]: а – поперечный разрез мельницы; б – вид водяного мутовчатого колеса сверху; в – веретенное колесо

Такие водяные колёса называли турецкими, болгарскими, балканскими и вообще восточными. Мельницы с горизонтальными колёсами были найдены в Греции, Норвегии, Северной Америке, Ирландии, Франции, Румынии, Персии и Китая. Во время раскопок саксонского города в Стаффордшире (Ирландия) была найдена водяная мельница с двумя горизонтальными водяными колесами, датированными предположительно 1200-1300 гг. до н.э. Сейчас такой водяной двигатель в европейской технической литературе получил название «скандинавской» («норвежской») мельницы, а в России – **мутовчатого колеса**, **мутовки** или **мутовчатой турбины**. На практике такие конструкции применялись на Украине и на Урале с XVII по XVIII вв. К.п.д. горизонтальных колёс не очень высокий (до 0,3), поэтому они не получили широкого распространения и применялись только для помола зерна.

Горизонтальные колеса, как правило, устанавливаются внутри здания мельницы ниже рабочей плоскости. Струи воды, направленные на лопатки колеса, приводили его в движение. Эта простая система с веретенным колесом (рис. 3.17,в), как правило, использовалась без передачи. Различают мутовчатые колёса с вертикальным падением воды (рис. 3.8,г) и с горизонтальной подачей воды по желобам (рис. 3.17,а). В последнем случае гидродвигатель в виде

колёс, то передаточное число всей передачи будет равно произведению передаточных отношений отдельных пар.

Зубчатая передача – комплект приспособлений для передачи вращения от водяного колеса к исполнительным машинам и механизмам, для которых предназначается его устройство (например, поставу). Передача движения от водяного колеса производится двумя группами специальных органов: зубчатыми колёсами и зубчатыми шестернями (рис. 6.2).

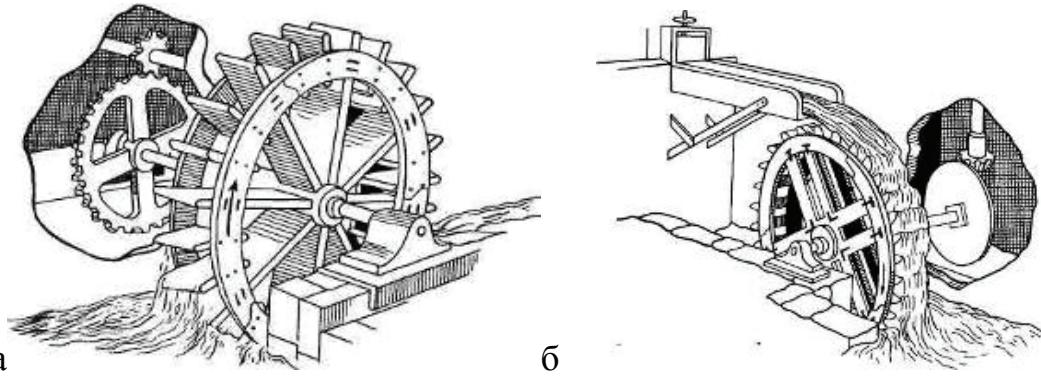


Рис. 6.2. Разные типы зубчатых передач водяных колес: а - подливного (undershot); б - верхненаливного (overshot)

Применение зубчатой передачи в комбинации с другими передачами позволяет более широко преобразовывать движение (табл. 6.1).

Таблица 6.1.

Результаты преобразования движения присоединения зубчатых колёс с другими передачами

Соединение зубчатого колеса	Результат
с винтом (червячная передача)	передаёт вращение из одной плоскости в другую
с коническим колесом	передаёт вращение под любым углом к плоскости ведущего колеса
с зубчатой линейкой	преобразовывает вращательное движение в поступательное
с шатуном	формируется возвратно-поступательное движение

Для элементов передачи, выполняемых из дерева, различие состоит в том, что зубчатые колёса снабжаются зубцами, гребнями, кулаками и пальцами, а зубчатые шестерни делают с деревянным зубом, имеющим специальное очертание, обеспечивающее надёжное сцепление с другой зубчатой шестернёй, которая была бы с зубьями такого же очертания или с цевками (рис. 6.3).

производить до 4 т муки в сутки. Очевидно, что конструкция именно такого водяного колеса послужила основой разработки Б. Фурнейроном водяной турбины. В 1826-1832 гг. француз Бюрден впервые применил к новому гидравлическому двигателю с внутренним подводом воды, имеющему направляющий аппарат и рабочее колесо, название **турбина** (от латинского слова turbo, turbinis — волчок). Механическая энергия воды посредством турбины передается генератору и в нём преобразуется в электрическую. Первые практически осуществлённые и хорошо работающие турбины были построены около 1830 г. во Франции Б. Фурнейроном (6 л.с. при напоре 1,4 м), а в России, независимо от него, И.Е. Сафоновым (36 л.с. при напоре 2,5 м). Следует учитывать, что если лопасти в сечении их цилиндром имеют искривлённую поверхность, то вода на них поворачивается более или менее плавно, и машина действительно приближается к турбине. Если же разрез прямолинейен, то передача энергии происходит за счет гидродинамического воздействия потока, работа производится преимущественно ударом, и машину правильнее называть водяным колесом [31].



Рис. 3.18. **Водяное колесо с вертикальной осью:** а – созданное в XVI в., используемое позднее Д. Бранка, а затем Я. Страда для рециркуляционной мельницы; б - использование колёс вплоть до XX в. в австрийских Альпах для шлифования мрамора; в – вид сверху «турбинного» колеса в ванне, середина XIX в.

В Азербайджане мельницы с мутовчатыми колёсами строили в 40-50-х годах XX в. При напоре 3...6 м, уклоне лотка 20° ... 30° и расходе около 0,1...0,3 м³/с колёса с наружным диаметром 1,2...1,4 м вырабатывали мощность около 1,0...1,5 кВт при 100 об/мин. К.п.д. таких энергоблоков составлял не более 0,12...0,25, а при увеличении напора, соответственно скорости и потерь в лотке, он быстро падал [37]. Такие колёса оказались наиболее удобны для горных местностей. В равнинной части России более предпочтительными стали вертикальные водяные колёса.

3.3.3. Верхненаливные колёса

В вертикально расположенное **верхненаливное** (наливное, внешнебойное или зарубежный аналог - овершот - **Overshot wheel**) колесо, применявшееся с XIV в., вода подводится к его верхней точке по лотку с

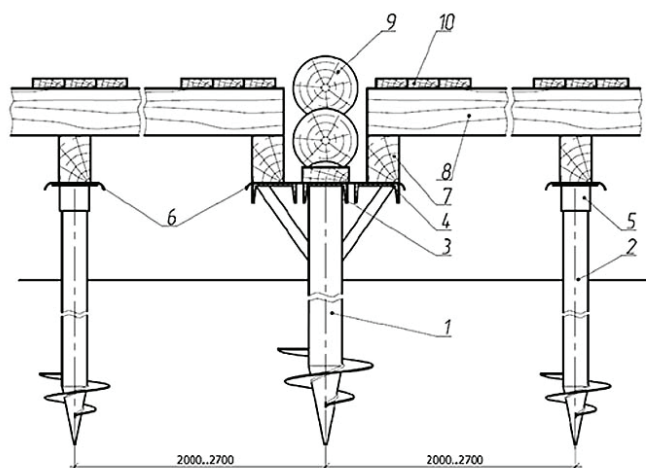


Рис. 5.33. Схема монтажа свайно-винтового фундамента: 1 – винтовая свая $d = 108$ мм; 2 – винтовая свая $d = 76$ мм; 3 – швеллер обвязки; 4 – подпорка бруса обвязки; 5 – оголовок; 6 – гидроизоляция; 7 – брус обвязки; 8 – балки перекрытия; 9 – бревенчатая стена; 10 – досчатый настил

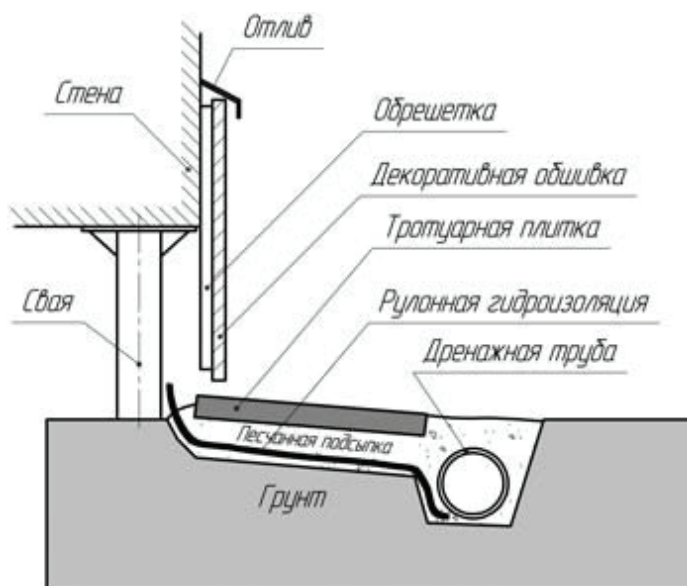


Рис. 5.34. Отделка свайного фундамента цокольным сайдингом

размером колеса и напором, поэтому их целесообразно применять для холмистой или горной местности. Основные преимущества таких колёс перед нижебойными: они имеют больший к.п.д., так как более экономно расходуют воду; большая мощность, так как используют большее падение воды; они в меньшей степени зависят от изменения уровней воды, обезвоживания, замерзания водотока и других изменений его естественного течения.

За счёт того, что наполнение водой ковшей происходит только сверху и с одной стороны колеса, возникает вращающий момент, приводящий колесо в движение. Коэффициент (степень) наполнения ковшей (K_n) составляет примерно 1/3...1/4. В нижней части колеса вода из ковшей выливается. Поскольку в нижней половине колесо движется в сторону, противоположную течению воды в отводящем русле, то для предотвращения снижения эффективности его работы и замедления вращения колеса ковши не должны погружаться в воду нижнего бьефа. Поэтому необходимо поддерживать постоянный напор на плотине, или ограничить его изменение в небольшом диапазоне. Такой тип колёс используется при разности уровней от 3 до 12 м. Минимальный зазор между дном подводящего лотка и верхом колеса по рекомендации [14] не должен быть менее 0,01 м.

Недостатками таких колёс являются: малое число оборотов в минуту; их громоздкость и, следовательно, невозможность получения большой мощности; невозможность использования части напора между отметкой слива воды из ковшей и уровнем в нижнем бьефе; значительное снижение к.п.д. при подъёме уровня нижнего бьефа и затоплении низа колеса.

Для **верхненаливных колёс** скорость протекания воды по жёлобу $V_{жс}$ принимается для малых колёс до 4 м/с, а для больших от 2 до 3 м/с. Скорость воды, поступающей на внешнюю окружность колеса V_k , обычно принимается при расчёте примерно в 2 раза меньше скорости $V_{жс}$. Наименьшее значение V_k составляет 1,3...1,5 м/с, а наибольшее – 1,8...2,5 м/с [14].

Диаметр колеса D целесообразно принимать меньше имеющегося напора. Для предварительного назначения диаметра колеса можно воспользоваться зависимостью

$$D = H - (0,3...0,6), \text{ м.} \quad (3.9)$$

Для более точного определения диаметра водяного колеса D необходимо, зная напор на мельничной плотине H , найти скоростной напор h и конструктивно назначить значения зазоров (см. рис. 3.28): a_1 – между подводящим жёлобом и верхней точкой колеса и a_2 – между нижней частью колеса и уровнем нижнего бьефа. Тогда

$$D = H - a_1 - a_2 - h, \quad (3.10)$$

где $h = V_k^2 / \sqrt{2g}$, $g = 9,81 \text{ м}^2/\text{с}^2$ – ускорение свободного падения.

монтируется обвязка, жёстко связывающая сваи между собой: для деревянных конструкций – это брус или швеллер, для более тяжёлых – монолитный железобетонный ростверк (рис. 5.32).

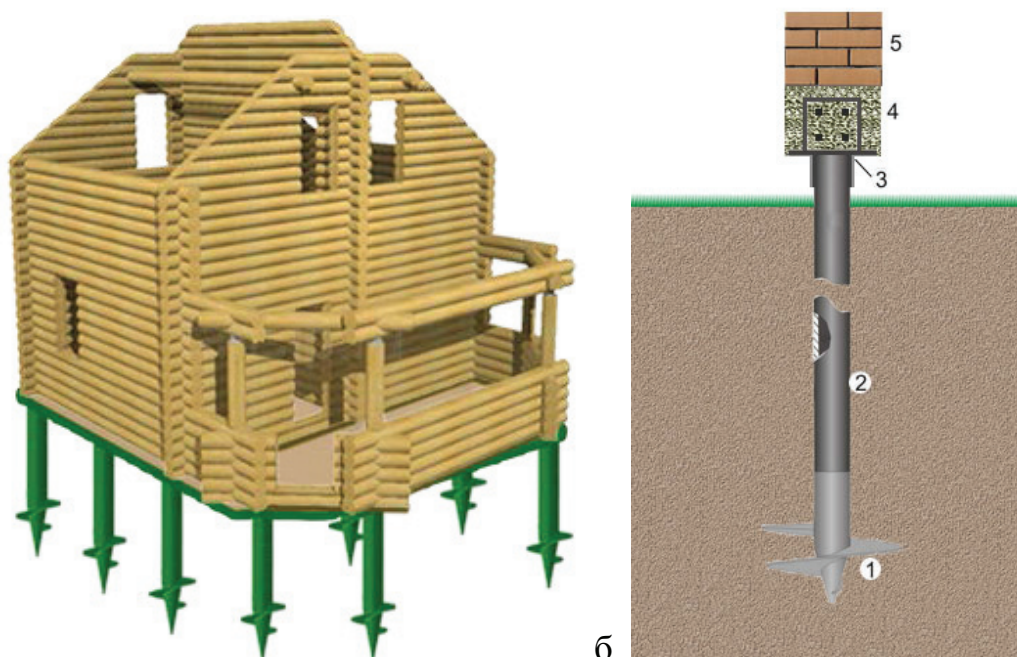


Рис. 5.31. Общий вид фундамента из винтовых свай: а – для деревянного строения; б – для кирпичного здания; 1 – винтовая лопасть; 2 – стальной столб; 3 – оголовок; 4 – железобетонный пояс; 5 – стенка цоколя из кирпича

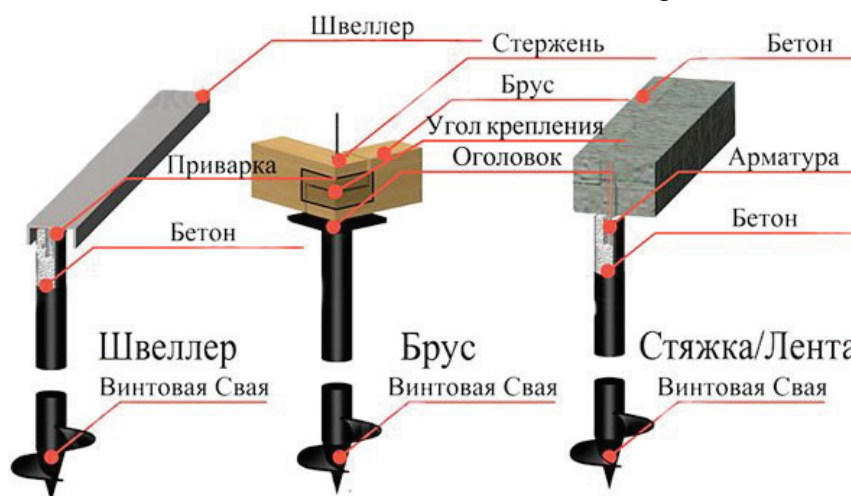


Рис. 5.32. Свайный фундамент

Устанавливать винтовые сваи можно двумя способами: вручную и механически. Для механической установки необходима специальная техника. Недостаток такой установки – сложность выставить её по уровню. Для установки свай большого диаметра используют только механический способ монтажа. Прочностные и нагрузочные характеристики такого фундамента имеют запас несущей способности от 4 до 18 т (при необходимых 2...3 т для

Число ковшей определяется по приближённой эмпирической зависимости (3.8.) и должно быть согласовано с конструкцией колеса: например, делиться на число косяков и т.п. (см. табл. 3.3)

$$n_k = (2,5 \dots 3) D, \quad (3.15)$$

где D – диаметр колеса в футах (1 фут = 0,3048 м).

Расстояние между ковшами, измеряемое по внешней окружности обода, будет равно

$$L_k = \pi D / n_k. \quad (3.16)$$

Принимаемые при проектировании таких колёс основные показатели приведены в табл. 3.1, где верхний предел у верхненаливных колёс берётся при $D = 4$ м. Общий к.п.д. таких колёс значительно ниже из-за потерь напора и наличия сложных передач.

Таблица 3.3

К определению числа лопастей, кошелей (ковшей, ящиков) и спиц (ручек) наливных колёс (по Molesworth)'у и Д'Обюсону)

Диаметр колеса, D , м	3,66	4,27	4,88	5,49	6,10	6,71	7,32	9,1
Число лопастей	24	26	28	30	34	36	38	40
D , м	3,66...7,62		7,62...12,2			12,2...15,25		
Число кошелей	2,1 D		2,3 D			2,4 D		
D , м	2,1...2,44		2,74...4,27			4,58...7,93		
Число спиц	4		6			8		

3.3.4. Средненаливные колёса

В **средненаливном (полуналивном** или зарубежный аналог - **Breastshot wheel**) колесе (за рубежом вода поступает в средней части обычно не выше уровня вала, чуть выше или ниже центра колеса) (рис. 3.19). Они используются с XVI в. Средненаливные колёса выполняют с ковшами – **полуналивные заднебойные** колёса или с лопатками – **среднебойные** колёса. Существенной особенностью этих колёс является окружение их концентрическим руслом, боковые стенки которого почти вплотную подходят к лопаткам колеса, изогнутым либо против поступающей воды – боковые колёса (рис. 3.22,г), либо в сторону последней – колёса Цуппингера или Сажбьена.

Вода к колесу подводится с помощью специального направляющего аппарата – кулисного впуска, позволяющего нейтрализовать вредное действие удара струи, поскольку лучше использовать скорость струи воды и повысить к.п.д. колеса. К боковым колёсам вода может подводиться щитовым или водосливным отверстием.

России, выполненные И.С. Заяц [11], фундаменты их часто были сделаны из валунов, а основная (производственная) клеть мельничного сруба устанавливалась на сваи и лежни или также на валунные фундаменты. Также, с помощью свай и лежней, устраивались лари и кюветы для направления воды, например, на водяные или турбинные колеса (аналогично устройству «скрынь» в плотинах).

В качестве материала для **деревянного свайного фундамента** мельничного здания можно использовать сосну, дуб или лиственницу. Такие длинные сваи, соединённые сложной решётчатой системой, поверх которой уложены громадные каменные блоки, хорошо зарекомендовали себя. Например, в Венеции под основание церкви Санта Мария де ла Салитэ, построенной в XVII веке, использовали 110 тысяч деревянных свай.

В проекте восстановления парковой водной системы столичной усадьбы «Влахернское–Кузьминки» предлагается поставить здание водяной мельницы Шибяевского пруда на **свайном основании из сборных железобетонных свай С6-30** (рис. 5.30). На правом борту плотины проектом предусмотрены два сруба (здание мельницы и вспомогательная пристройка) размером в плане 6,5х6,5 м.

Цоколь здания выполнен из монолитного железобетона, наружные стены облицованы бутовым камнем. Отводящий канал за мельницей шириной по дну 2,0 м и откосы крепятся отсыпкой из камня диаметром около 10 см. На мосту и входном оголовке мельничного водосброса предусмотрено деревянное перильное ограждение.

На сложных ландшафтах современным и простым может быть решение фундамента из **регулируемо-винтовых свай**, стоимость фундамента из которых на 30...70 % ниже фундаментов традиционно типа из бетона: ленточных и плитных. Винтовые сваи представляют собой стальную трубу с приваренной к ней буровой лопастью определенной конфигурации (рис. 5.31б). Благодаря этому при закручивании сваи в грунт он не разрыхляется, а уплотняется на глубину не менее 1,5 м с минимальным сопротивлением. Цельные сваи производятся длиной до 6,5 м, обычно достаточной для прохождения проблемного грунта, диаметром ствола от 57 до 218 мм, диаметром винта 200...600 мм, толщиной стенки 3,5...8 мм. Винтовые сваи необходимо закручивать с шагом 2...3 м для последующего устройства ростверка из деревянного бруса. Под 2-х этажный дом площадью 150 м² обычно ввинчивают до 20...25 свай.

часть колеса. Их иногда называют **низкобойными** колёсами и считают переходной ступенью к нижнебойным колёсам [59]. Из-за особенностей конструкции в некоторых литературных источниках такие колёса называют колёсами с водосливным впуском или **зобовыми** колёсами (рис. 3.22,в).

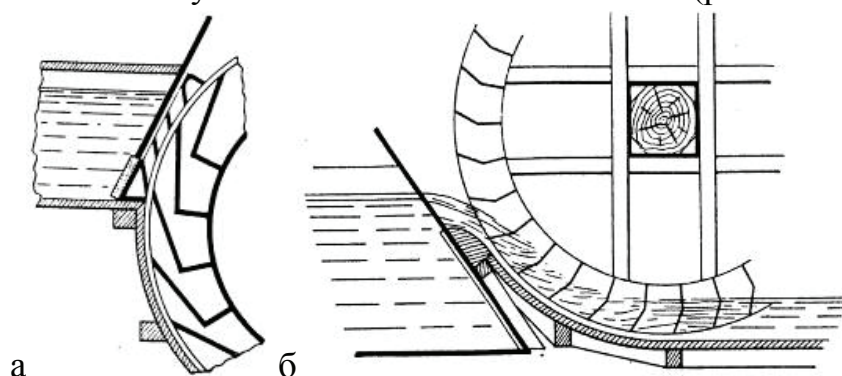


Рис. 3.23. Схемы впускных устройств средненаливных водяных колёс и разной формой лопастей: а – заднебойное колесо с ковшами и щитовым (перегородчатым) впуском; б – средненаливное колесо с водосливным впуском и лопатками

Для **средненаливных колёс с ковшами (заднебойных с перегородчатым впуском)** скорость поступающей на колесо струи воды задаётся обычно не более 0,365 м/с (рис. 3.24). Скорость воды на окружности колеса принимается примерно (0,5...0,7) от скорости воды, притекающей на него. Диаметр заднебойного колеса может быть приближённо установлен по зависимости

$$D = (4/3) H, \quad (3.17)$$

где H – напор, м. Расчёт и проектирование заднебойного колеса с ковшами производится по аналогии с верхненаливным.

Для **средненаливных (полуналивных) колёс с лопатками (среднебойных с водосливным впуском)** скорость воды на пороге водослива принимается около 3 м/с. Скорость воды на окружности колеса берётся приблизительно в 2 раза меньше её (табл. 3.4). Диаметр среднебойного колеса назначается по эмпирической зависимости

$$D = (2,5...3,0) H, \quad (3.18)$$

где H – напор, м. Дальнейший расчёт и проектирование среднебойного колеса с лопатками производится по аналогии с верхненаливным.

нижние венцы клали прямо на землю. Под углы и середину стен клали большие камни или ставили "стулья" из толстых дубовых бревен. Для стульев подбирали комлевую древесину лиственницы или дуба, стойкость которой против загнивания достаточно высока. Чтобы повысить эту стойкость, древесину обжигали на костре или промазывали дегтем.

Специфика устройства **фундамента** мельничных зданий заключается также в том, что практически всегда присутствует важный строительный элемент – подпорная стенка («водяная стена»). Кроме того, большая часть территории центральной части России сложена пучинистыми грунтами: глинами, суглинками, супесями, песками мелкими и пылеватыми. Поскольку деревянные здания имеют небольшие нагрузки, то силы пучения их превосходят, и фундамент в результате этого может подняться. На пучинистых грунтах материалоемкие и дорогостоящие фундаменты, заложенные на всю глубину промерзания, не обеспечивают надёжную эксплуатацию такого малоэтажного здания. Поэтому здание мельницы целесообразно устраивать либо на **свайном** (рис. 5.28), либо на **ленточном мелкозаглубленном** фундаменте (ВСН 29-85). Когда строятся одноэтажные здания из деревянного профилированного бруса, то чаще всего применяют столбчатый и свайный фундаменты. В том случае, если этажей несколько, то устраивают фундамент ленточного типа. Само же строительство начинается после закладки первого ряда бруса (рис. 5.28). После укладки первого ряда монтируются лаги для пола. Лаги могут крепиться как к стенке сруба, так и укладываться на фундамент дома. На данном этапе кладётся черновой пол, для монтажа которого используют сухие половые или обрезные доски, непосредственно на черновой пол ложится гидроизоляция.

Для начала строительства фундамента необходимо знать глубину промерзания почвы, расчетный вес здания с кровлей, возможную снеговую нагрузку. **Ленточный** фундамент закладывается на глубину 0,1...0,5 м от поверхности грунта или непосредственно на поверхности, с частичной заменой пучинистого грунта. Для защиты фундамента от подмыва водой, выходящей из-под водяного колеса, пол под колесом выполняли из 2-х рядов досок толщиной не менее 60 мм, из которых нижний обязательно конопатили просмоленной паклей. Пол обязательно продлевали за здание мельницы в виде лотка или жёлоба с незначительным уклоном для отвода воды как можно дальше от фундамента.

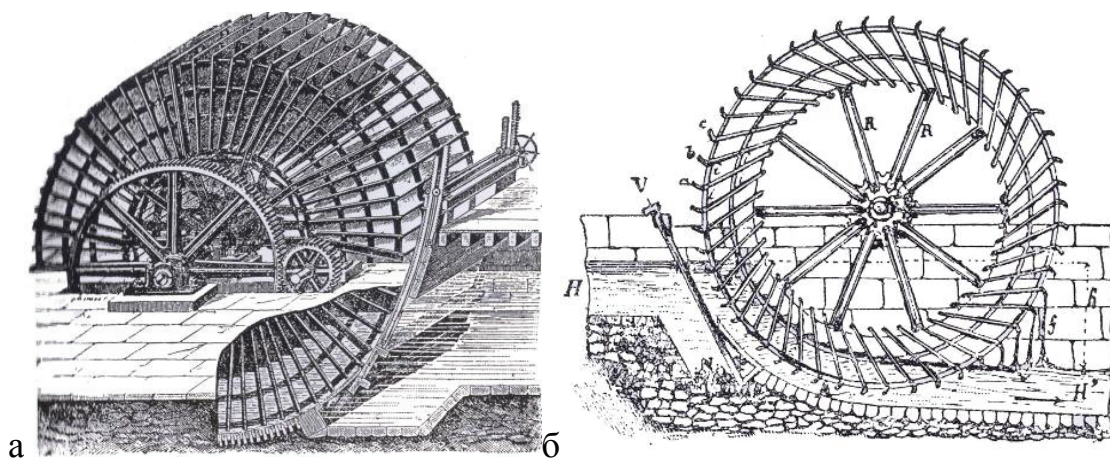


Рис. 3.25. Общий вид (а) и разрез (б) колеса Сажебьена

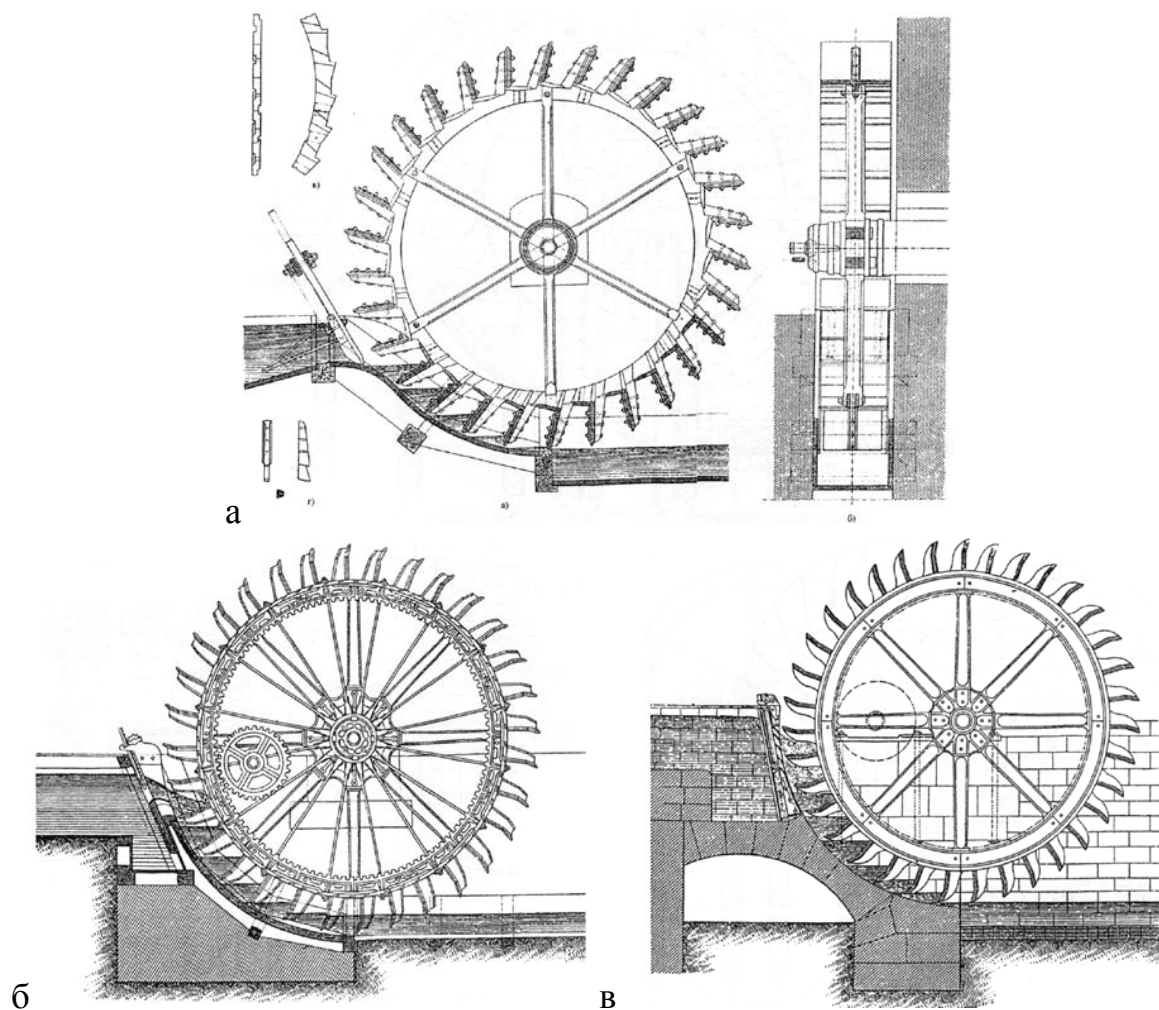


Рис. 3.26. Боковые колёса с впуском воды [59]: а – ниже горизонтального радиуса, из дерева, $D = 5,34$ м; а) – вид спереди; б) – вид сбоку; в) – форма и расположение отверстий на ободе; г) – клинья, с помощью которых прикреплены лопасти к ободу колеса; б – вблизи горизонтального радиуса и с деревянным руслом; в – через щитовые отверстия и с руслом, выложенным из тёсаного камня

Вода на колесо поступает через водослив. Колесо вращается за счёт веса воды в очень тесном кожухе с зазором не более 0,003 м. Напор, нужный для работы колеса, составляет от 0,3 до 4 м. Толщина струи принимается равной

Доступ людей на такую крышу-газон обычно не предполагается или ограничен специальными дорожками. Не эксплуатируемые кровли-газоны полностью покрывают травой, к которой необходим доступ обслуживающего персонала для ухода (полива, скашивания и пр.). Особого ухода подобный вариант озеленения не требует. Вмешательство человека необходимо два-три раза в год. Растения используются почвопокровные, хорошо переносящие разницу температур и недостаток влаги: мхи, разновидности засухоустойчивых и дикорастущих трав, седумы, камнеломки, некоторые луковичные. Высота растительного слоя составляет 3...15 см (рис. 5.26).

Технологии **интенсивного** озеленения предполагают на кровлях настоящий садовый ландшафт с кустарниками и деревьями высотой до 4 м. В здании устраивают выходы на кровлю, а на кровле устраивают дорожки, укрытия от дождя, беседки, водные объекты и т.д. От насыщенности ландшафта зависит стоимость обустройства и обслуживания. Системы интенсивного озеленения требуют постоянного ухода и систему автоматического полива. Кровли с интенсивным озеленением значительно тяжелее систем экстенсивного типа: нагрузка в таких системах составляет от 250 до 900 кг/м². Поэтому при их реализации необходимо учитывать прочностные характеристики не только кровельной основы, но и всех несущих конструкций, вплоть до фундамента. К достоинствам современных зеленых кровель следует отнести защиту гидроизоляции кровли от ультрафиолетового излучения, перепадов температур и перегрева, а, следовательно, и более долгий срок службы.

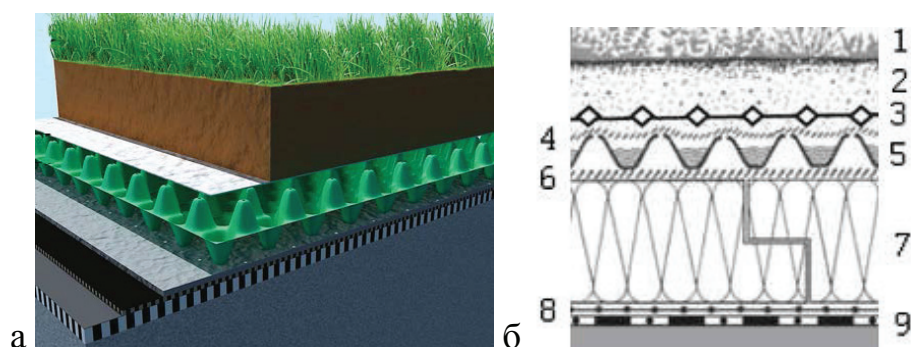


Рис. 5.26 **Инверсионная кровля системы «Штайнрозенфлур» (Германия) для крыш с уклоном 0°...8°**: а – общий вид; б – схема; 1 – растения с плоским комом, согласно списку растений системы «Штайнрозенфлур»; 2 – смесь почвы для системы «Штайнрозенфлур»; 3 – геотекстиль «Фальнет»; 4 – системный фильтр; 5 – дренажный текстиль «Флорадрейн»; 6 – разделительный накопительный мат; 7 – теплоизоляция из ЭППС; 8 – при необходимости, дополнительно корнезащитная пленка ВСФ 40; 9 – несущее основание с гидроизоляцией

Особое внимание следует обратить на отвод воды с кровли: его необходимо предусмотреть внутренним, с обеспечением уклона кровли 1,5...2% по отношению к водоотводящим устройствам. Уклон кровли можно

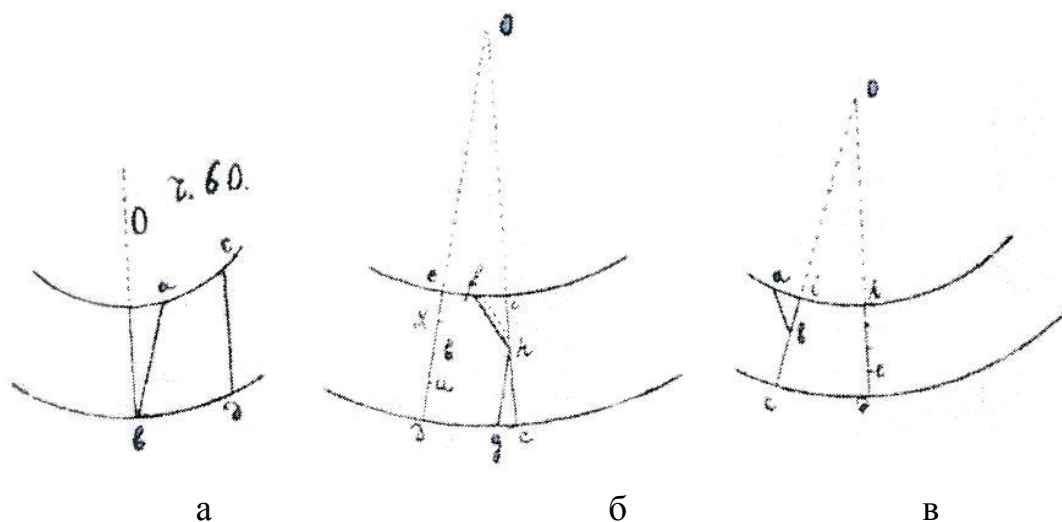


Рис. 3.28. Схемы вычерчивания лопаток пошвенного колеса: а – нерадиальное расположение лопатки (dc) – параллельно линии ov : изогнутая форма, состоящая из двух частей, соответственно; б - каждая под углом к радиусу (лопатка fhd); в – одна по радиусу, другая под углом к нему (лопатка abc)

Из-за низкого к.п.д. для получения необходимой мощности такие колеса имели достаточно большие размеры. Их проще всего строить, но они могут быть использованы, только если скорость потока достаточна для создания необходимого крутящего момента колеса. Такие колёса больше подходят для неглубоких ручьёв на равнинной местности. Они применяются при $H = 0,2 \dots 1$ м и $Q = 0,1 \dots 5$ м³/с. Щит с впускным отверстием устанавливается чаще всего под углом примерно 45° к горизонту, но есть конструкции с углом, достигающим до 90° (рис. 3.29). Минимальный зазор между лопатками колеса и дном русла должен быть не более 25 мм, сбоку между колесом и устоями или бортами русла – в пределах 25...50 мм [22, 53].

По другим источникам [59] просвет внизу и с боков от стенок лотка до лопастей колеса допускается не более 12...16 мм для каменного кожуха и не более 19...25 мм для деревянного.

В дальнейшем французский инженер Понселе для повышения эффективности работы подливного колеса при малых напорах H от 0,2 до 1,7 м разработал конструкцию с к.п.д. от 0,55 до 0,70. **Колесо Понселе** использовало не только кинетическую энергию, но и часть потенциальной (рис. 3.29 б, в). Вода к такому колесу подводится через щитовой впуск, расположенный значительно ниже его центра. Дно лотка под щитовым отверстием до начала закругления может быть устроено с уклоном 1:12. Длина дугообразной части дна лотка равна $\pi D/12$. Высота уступа в начале отводящего канала была не более 0,2, 0,25 или 0,3 м.

Поток воды, вытекающий из-под щита, попадал на криволинейные лопасти колеса. Повышение к.п.д. обуславливалось более полной передачей

Серия люков, полы и лестницы использовались для перемещения вверх и вниз.

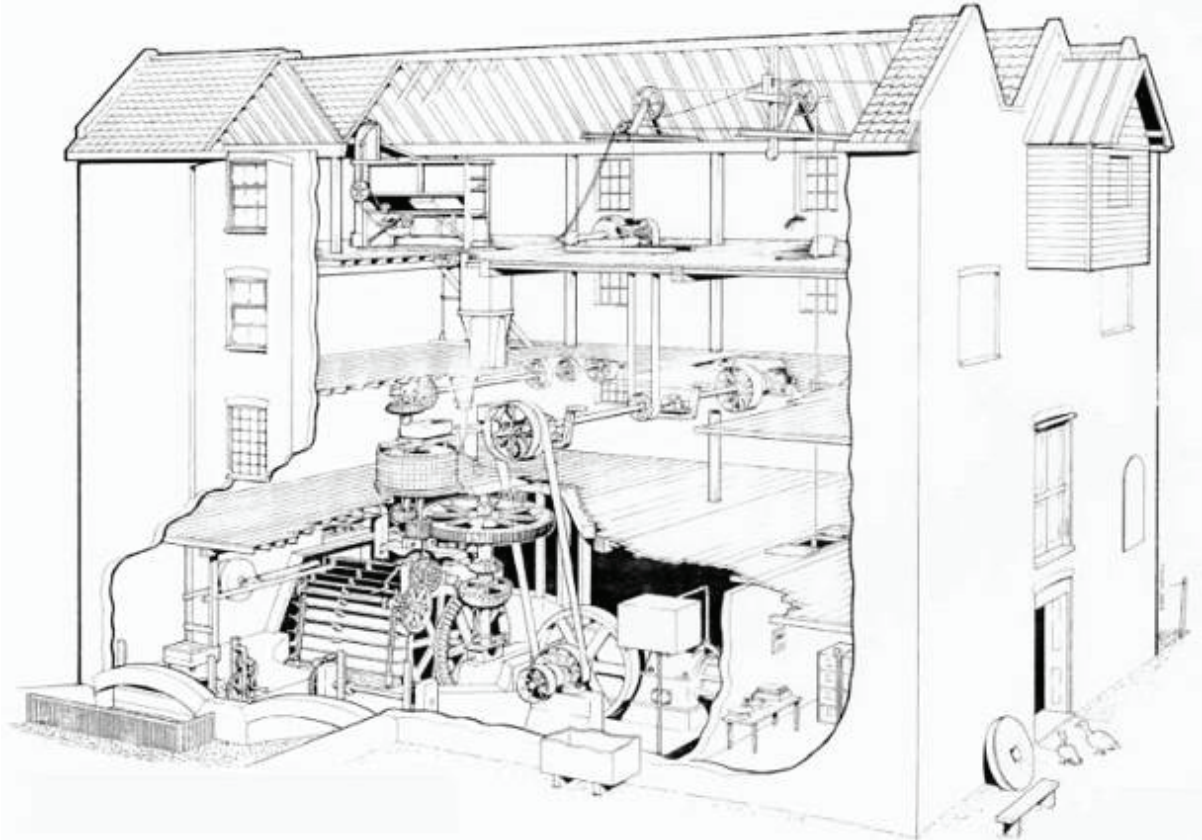


Рис. 5.23. Водяная мельница «Letheringsett» в Норфолке. 2007 г.

Помимо стандартных покрытий на мельничных зданиях такого типа можно устраивать зелёные кровли (рис. 5.24).



Рис. 5.24. Мельница «Kells, Kilmacow». Ирландия, 2000 г.

Кровли-газоны устраивают как при горизонтальных кровельных покрытиях, так и при скатных кровлях. В городских поселениях они снижают общий объем сточных вод и замедляют темпы поступления воды с крыши в ливневую канализацию. Конструкция зеленой кровли включает (при движении снизу вверх) следующие слои: основу кровли (например, для плоских кровель – железобетонное перекрытие); образующую уклон песчано-цементную стяжку

лопасти, а также тем, что поток воды на выходе с лопасти обладает определенным запасом энергии.

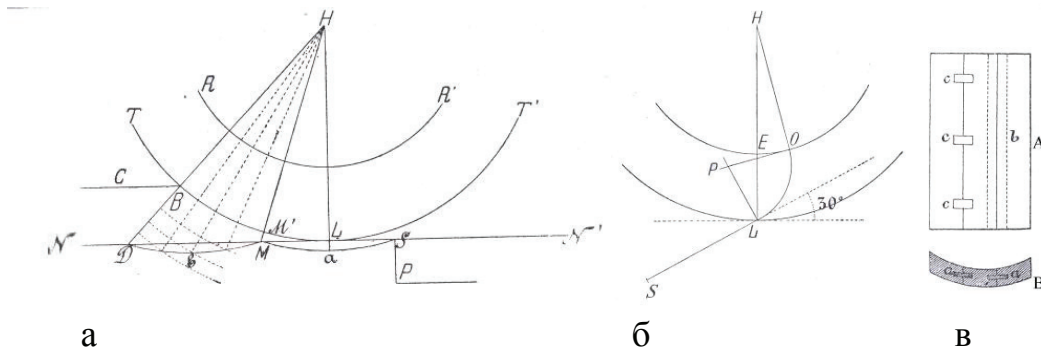


Рис. 3.30. Схемы вычерчивания кривизны порога флютбета или русла (а), формы лопастки (лопасти) (б) и её изготовления из дерева (в) для колеса Понселе

В зависимости от вида лопастей к.п.д. такого колеса при коэффициенте наполнения $1/2$ может изменяться в интервале от $0,3$ при плоских лопастях, до $0,4...0,65$ при лопастях криволинейной формы с обхватывающим колесо желобом, аналогичным средненаливному. Следует иметь в виду, что с уменьшением скорости течения воды мощность колеса падает, поэтому нижнебойные колёса целесообразно применять при скоростях течения воды более 1 м/с.

При выборе размеров водяных колёс, используя данные опыта строительства и аналоги действующих или построенных ранее мельниц, можно дать следующие общие рекомендации. На первоначальном этапе проектирования в зависимости от H , Q и назначения водного объекта по таблицам 3.1., 3.2. и 3.4 выбирается тип и обобщённая конструктивная схема водяного колеса. В зависимости от типа колеса и на основании данных, взятых из практики эксплуатации и исследований мельниц с соответствующими водяными колёсами, принимаются гидравлические характеристики водяного потока, определяются и уточняются габаритные размеры основных элементов колеса. Далее рассматриваются вопросы установки колеса с учётом его конструктивных особенностей, способов изготовления и установки.

3.4. Установка колеса в водном тракте

Анализ существующей технической литературы показал, что у большинства гидроэнергетиков функциональные возможности водяных колёс не вызывают сомнений. Однако, если отечественные специалисты считают целесообразным применение водяных колёс в настоящее время только «в экзотических целях как памятников технической мысли и технического искусства, в составе, например, водяных мельниц или водоподъёмных систем»

проницаемости арболита в построенном из него доме не появляется плесень и грибок, не заводятся насекомые и вредители.

Большинство изделий в каменной кладке устанавливают на растворе, сделанном из портландцемента, песка и извести. Выполнение здания из природного камня и кирпича как для античных (рис. 5.19), так и для современных водяных мельниц больше характерно для зарубежных мельничных зданий (Чехия, Германия, Голландия, Белоруссия и др.) (рис. 5.20) и горных регионов РФ.

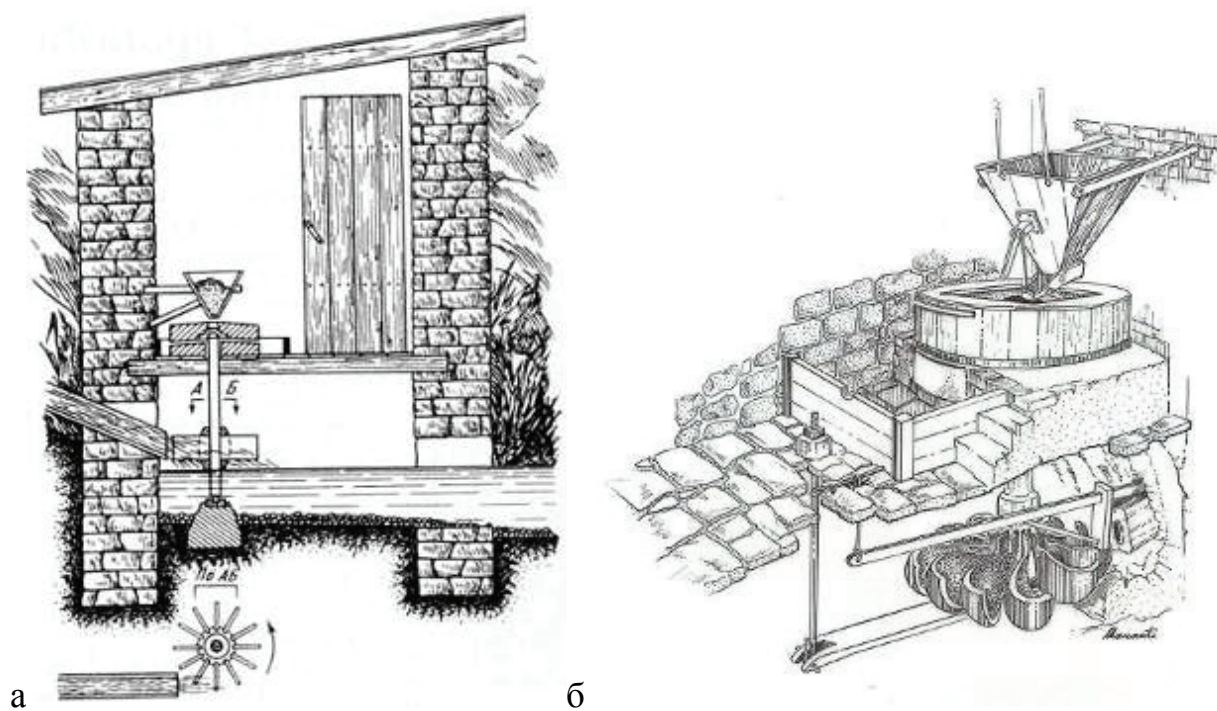


Рис. 5.19. Мельницы с горизонтальными колёсами: а – мельница I в.; б – рисунок Микеланджело. Музей воды и мельниц, Италия

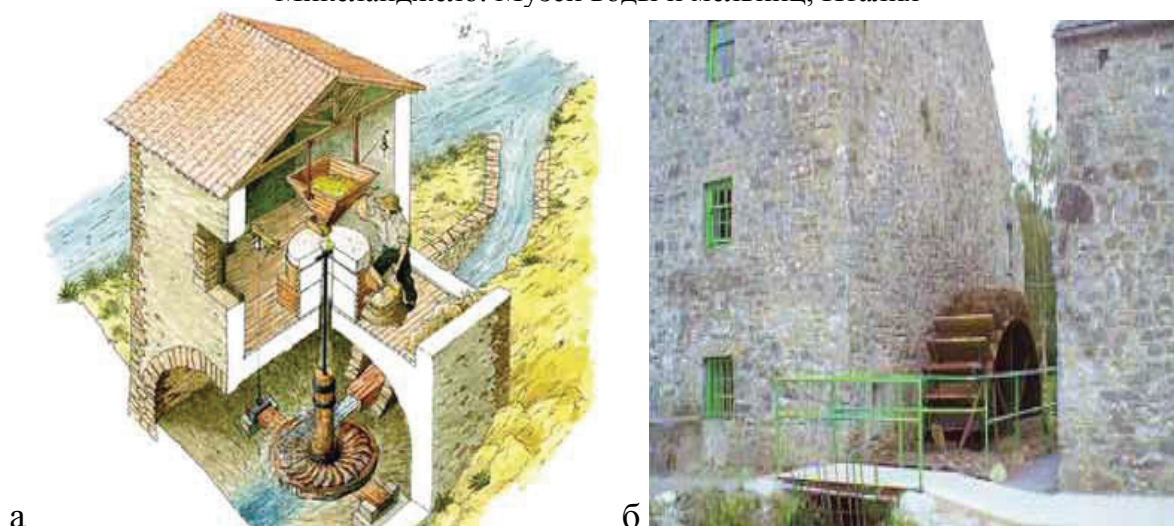


Рис. 5.20. Здания зарубежных водяных мельниц из камня и кирпича: а – «норвежская» с горизонтальным колесом; б – мельница «Kells, Kilmacow». Ирландия, 2000 г.

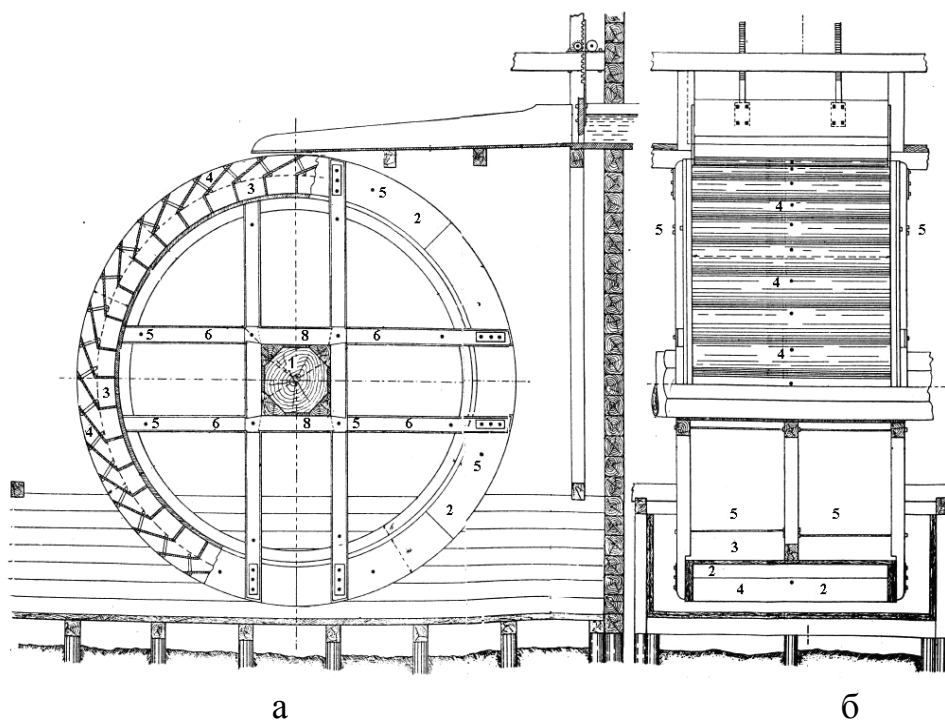


Рис. 3.31. Основные элементы деревянного водяного колеса: а – продольный разрез по водотoku; б – вид с нижнего бьефа; 1 – вал; 2 – ободья; 3 – опалубка; 4 – ковши или лопатки; 5 – железные струны; 6 – спицы или ручки; 7 – клинья; 8 – доски

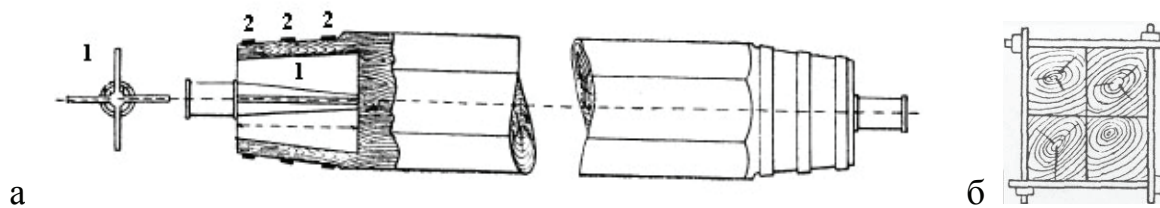


Рис. 3.32. Деревянный вал водяного колеса: а – простой; б – составной; 1 – железные или чугунные шипы; 2 – железные кольца

В конце вала врезали чугунные или железные шипы 1, вращающиеся в подшипниках. Для укрепления шипов концевая часть вала стягивалась железными кольцами 2. Диаметр шипов можно определить расчётом в зависимости от значения действующих сил и равномерности их распределения на концы вала. При этом основной силой является вес всего колеса. Необходимо придавать колесу такое положение, при котором вал, имея две точки опоры, был бы короче. Диаметр чугунного шипа примерно в 1,5 раза больше диаметра железного. Длина шипа берётся в 1,5 раза больше его диаметра [14]. Толщина деревянного вала принимается примерно в 5...6 раз больше диаметра железного шипа. Диаметр железного шипа на построенных мельницах находится в среднем в пределах от 0,12 до 0,16 м. Вал острагивался на 8 кантов и представлял в сечении правильный восьмиугольник (рис. 3.32). На 4-х противоположных гранях накладывали треугольные призмы 3, а на них прибавляли или вставляли в соответствии с шириной колеса между ними короткие доски. Полученную таким образом квадратную часть охватывали

существуют два способа: скользящий и жесткий. Последний метод применяется тогда, когда фронтоны каркасные. Для этого используются накладки, или же там, где будет соединение, создается небольшое гнездо. Скользящий тип крепежа применяется в том случае, если фронтоны делаются из бруса с помощью той же технологии, что и стены самого дома. Стропила устанавливаются от одного из фронтонов. Для временной фиксации используют подпорки и раскосы. В качестве дополнительного каркаса для жесткости применяют обрешетку, благодаря которой можно соединить стропила между собой. Обрешетка, на которую крепится кровля, создается из бруса или досок. Если в качестве кровельного материала будет использован шифер или металлочерепица, то для обрешетки берут брус 50 на 50. Если кровля будет мягкой, то обрешетка сплошная или имеет интервал в одну доску. Процесс крепления кровельного материала начинается с нижнего конца по направлению вверх. Более подробно особенности деревянного домостроения рассмотрены в технической [73] и справочной литературе.

5.3. Каменные здания: стены, перекрытия, кровли

Помимо традиционного типа русского жилища – здания со стенами из брёвен, в некоторых случаях для организации соответствующего ландшафта возможно использование при возведении здания мельницы (или её отдельных элементов) **камня** и **кирпича**. Именно из них часто строили парковые водные системы состоятельные владельцы усадеб в XVIII – XIX вв. Мельницы, построенные из камня или кирпича, были многофункциональными. Они имели более развитую и сложную планировку, могли быть многоэтажными и с большим количеством поставов. При реконструкции для таких мельничных зданий лучше использовать более дорогой природный камень, а не облицовку из относительно дешёвого искусственного камня, несмотря на то, что современные производители предлагают огромный ассортимент искусственных отделочных материалов, имитирующих камень и по ряду параметров не уступающих натуральным (керамический гранит, конгломераты – искусственный мрамор, полимербетон, искусственный камень или бетонная плитка и т.д.). Из камня часто строили и монастырские мельницы (например, в Соловецком монастыре, на Большом Соловецком острове и др.) (рис. 5.18). В Белоруссии встречались каменные постройки, где профессионально выполненная бутовая кладка сочеталась с кирпичной кладкой. В этом случае рабочее помещение мельниц было трёхэтажным. Наверху находился лоток для засыпки зерна.

Изделия из **каменной кладки** делают с применением бетона, глины, стекла, и различных лёгких материалов. Используется также естественный камень. Керамические строительные материалы и изделия из глины можно

и не покривилось при набухании дерева в воде, ручки не рекомендовалось плотно стягивать с ободом. Промежутки между валом и ручками забивались клиньями 7 и досками 8. Ручки обычно делали шириной 14...21 см и толщиной примерно 5/7 от ширины ручки, т.е. около 10...15 см. Число ручек N_p может быть определено по формуле:

$$N_p = 2 (0,5 D + 1), \quad (3.19)$$

где D – диаметр колеса, м.

Число ручек колеса N_p принималось чётным (табл. 3.3). Все ручки, соответствующие каждому ободу колеса, представляют цельную систему. Обычно для колёс шириной до 2,5 м применялись 2 системы ручек, а при большей ширине – 3 и более систем [14].

Лопатки часто составляли из двух досок, скреплённых плоскими или круглыми шпонками. При широких колёсах для увеличения прочности иногда делали посередине лопаток железные подпорки.

Установка **верхненаливного** колеса включает три основных части: подводящий участок (канал, из которого организуется спуск или ларь, вливающий воду через свою переднюю или боковую стенку в ковши колеса); водяное колесо; отводящий канал в нижнем бьефе. В зависимости от предполагаемого использования колеса и необходимости регулируемой подачи воды или работе колеса в свободном управлении разрабатывается дизайн колеса: наличие и конструкция подводящего участка, количество, глубина и форма ковшей, ширина колеса и его скорость.

При больших напорах размеры верхненаливного колеса возрастают, оно становится громоздким. С увеличением диаметра колеса падает частота вращения колеса n , усложняются конструкции передаточных устройств. При малых напорах диаметр колеса уменьшается, в результате снижается вращательный момент и мощность колеса, несмотря на некоторое увеличение числа оборотов. Для избежания подтопления рекомендуется располагать низ колеса выше меженного уровня более чем на 0,10...0,15 м, а с учётом возможных колебаний уровня воды в нижнем бьефе даже на 0,25...0,5 м.

Поскольку наливное колесо использует напор, несколько меньший его диаметра, то такое колесо можно назвать одним из наиболее древних видов низконапорных гидравлических двигателей.

Центр **средненаливных (полуналивных) колёс с лопатками (среднебойных с водосливным впуском)** должен быть расположен выше уровня воды в верхнем бьефе на 0,25...0,3 м, а нижняя точка колеса – ниже уровня воды на половину высоты лопатки (пера), примерно на 0,15...0,2 м (рис. 3.33).

рекомендуется делать противопожарную обработку чердачных помещений, что позволяет увеличить безремонтный период до 100 лет.

Сегодня **соломенные** (а точнее **камышовые**) кровли из-за высокой стоимости относятся к элитным покрытиям. В настоящее время они более широко распространены в Европе, например, в Голландии 80 % крыш частных построек покрыты камышом. Искусством плетения камышовых крыш несколько веков назад в совершенстве владели именно славянские народы. Основным материалом таких кровель является солома из камыша. Камыш – это высокое травянистое растение семейства осоковых, в изобилии растущее в поймах рек, по берегам озер и на болотах. Его заготовки делают в зимний период в Калининградской и Астраханской областях, на Кубани и Украине. К достоинствам камышовых кровель относятся: высокие теплосберегающие свойства (стандартная толщина слоя камыша в 30...35 см соответствует по данному показателю слою теплоизоляции толщиной 15 см из минеральной ваты); прекрасная звукоизоляция; хорошие гидроизоляционные свойства; простота ремонта. Считается, что камышовые крыши самовентилируемые. Крыша, покрытая 30-сантиметровым слоем соломы, держит тепло и создаёт прохладу летом. Камышом покрывают обычно крыши простой геометрии, но обязательно скатные. Необходимый угол наклона кровли из камыша — не менее 30°, а лучше более 45°. Именно такая крыша, как показывает практика, наиболее ураганоустойчива и остается на здании даже после смерча. Дождевая влага при сильном ливне способна проникнуть вглубь камышовой кровли не более чем на 2...3 см даже под многодневными дождями, при этом после прекращения осадков покрытие высыхает буквально за несколько часов. Сооружение гидробарьера из каких-либо гидроизоляционных материалов со стороны основания камышовой кровли нецелесообразно. На проблемных участках кровли, таких как коньки и ендовы, в сочетании с камышом используют дерево, черепицу, медь. По окончании строительных работ кровлю из камыша пропитывают только антипиреном, придающим материалу огнестойкость. При правильной технологии укладки и соблюдении необходимого уклона кровли из камыша, соломы и дранки служат до 50...80 лет. Крышу можно сочетать с вертикально расположенным камышом на фасаде здания. При обшивке фасада камышом необходимо следить преимущественно за тем, чтобы ничего не выскользнуло из связки. Камышовые крыши можно укладывать практически в любое время года, когда нет осадков, со скоростью 8...10 м² в день. Цена в среднем 60...90 евро за 1 м².

Для увеличения срока службы древесного кровельного материала обычно выполняется дополнительная его обработка полимерными составами, например, российско-испанского предприятия «SHINGLAS». Кроме того,

Лопатки из досок толщиной около 3...4 см прикрепляются нагелями к клинью, вставленным в ободья. Лопатки часто устанавливаются радиально, но могут быть направлены под углом около 10^0 к радиусу колеса. Раньше иногда промежутки между ними обшивались досками. Впускное отверстие выполняется с высотой, составляющей примерно $1/3$ от длины лопаток (в пределах 10...25 см). Длина лопаток назначается не более 70 см. Они располагаются равномерно по длине окружности на расстоянии, примерно равном $1,0...1,5$ ширины обода или глубины колеса. Число лопаток такого колеса составляет примерно 24...28 шт. и может быть определено по зависимости:

$$N_l = (1,5...1,75) D, \quad (3.20)$$

где D – диаметр колеса в футах.

Пример: Запроектировать водяное колесо при $H = 5,5$ м, $Q = 0,375$ м³/с.

По табл. 3.1 определяем, что при таких исходных параметрах целесообразно установить **верхненаливное** водяное колесо, с диаметром, ориентировочно равным в соответствии с зависимостью (3.9), $D = 5,5 - (0,3...0,6) = 5,2...4,9$ м. Задавая по рекомендациям п.4.10.1. скорость в подводящем лотке (жёлобе) $V_{жс} = 3$ м/с, найдём скорость воды на окружности колеса $V_k = 0,5 V_{жс} = 1,5$ м/с. Принимаем минимальные значения зазоров $a_1 = 0,01$ м и $a_2 = 0,1$ м. При этом диаметр колеса будет $D = 5,5 - 0,01 - 0,1 - 1,5^2/4,43 = 4,882$ м. Принимаем окончательно $D = 4,885$ м.

Число оборотов колеса устанавливаем по формуле (3.11)

$$N_k = 60 \times 1,5/3,14 \times 4,885 = 5,87,$$

что находится в указанных выше пределах.

Для определения ширины колеса назначаем на основании опыта эксплуатации таких колёс глубину воды в жёлобе $h_g = 6,3$ см. Тогда ширина струи поступающей воды должна быть в соответствии с (3.13) $b_c = 0,375/0,063 \times 3 = 1,98$ м. Ширина колеса, найденная по формуле (3.12), составит $b_k = 1,98 + 0,12 = 2,1$ м. Поскольку ширина колеса менее 2,5 м, то принимаем 2 системы ручек. Число ручек каждой системы устанавливаем по выражению (3.19)

$$N_p = 2 (0,5 \times 4,885 + 1) = 6,89 \text{ шт.},$$

Следовательно, назначаем чётное число ручек $N_p = 8$. Принимаем их шириной 0,2 м и толщиной 0,145 м.

Глубина колеса при коэффициенте наполнения $K_n = 1/3$ и скорости его вращения $V_k = 1,5$ м/с будет равна по формуле (3.14)

$$h_k = 0,375 \times 3/1 \times 1,5 \times 2,1 = 0,357 \text{ м.}$$

Число ковшей определяем по зависимости (3.15) $n_k = (2,5...3) 4,885/0,3048 = 40...48$ шт. Принимаем минимальное значение $n_k = 40$, тем более что оно делится на 8 и на каждый косяк приходится 5 ковшей, находящихся на расстоянии $L_k = 3,14 \times 4,885/40 = 0,383$ м друг от друга. Назначаем толщину днища ковша 0,04 м, а верхней грани – 0,025 м. Опалубку колеса выполняем из досок толщиной 0,05 м. Принимаем шип железный, а вал колеса достаточно длинным, чтобы считать, что силы воспринимаются главным образом одним шипом, тогда, как показывает практика, диаметр шипа можно принять $0,15$ м, длину шипа $1,5 \times 0,15 = 0,225$

рядом преимуществ: эстетичный внешний вид, надежность и долговечность, огнестойкость, абсолютная устойчивость к ультрафиолетовому излучению, кислотным дождям, резким перепадам температуры и другим климатическим факторам. Керамическая черепица обладает низкой теплопроводностью, способна хорошо поглощать шум, не накапливать статическое напряжение. Срок службы качественной черепицы без необходимости проведения ремонта – более 100 лет.

Цементно-песчаная черепица, получившая в последние десятилетия широкое распространение, обладает всеми достоинствами керамической черепицы, она легче, но при этом в два раза дешевле в производстве и долговечнее в условиях сурового российского климата.

Деревянная черепица (дранка, гонт, шиндель) полностью отвечает требованиям качественного и экологически чистого материала. Она выполняется для крыш с наклоном более 20° из штучного кровельного материала, каждая дощечка которого изготавливается практически вручную, при этом заготовки для будущих кровельных дощечек не распиливают, а раскалывают или расщепляют, благодаря чему внутренние капилляры древесины не разрушаются.

Издавна на Руси дома крыли **гонтом**, бедные семьи для кровли использовали **солону**. Гонт делали из древесины: пихты, ясеня и особенно часто из ели. Правильно изготовленный гонт носит название колотого гонта. Для получения этого кровельного материала использовали ровные части ствола дерева, расположенные между отдельными ветвями с минимальным количеством сучков. Кололи гонт в радиальном направлении. Для этого топором и молотком от поленьев отделяли клиновидные части. Каждый клин обрабатывали двуручным резакон до получения детали каплевидной формы. Специальным инструментом – гонтовым стругом – вырезали паз и полученные таким образом элементы сушили в течение шести месяцев. Предварительно гонт пропитывали антраценовым маслом, а после устройства кровли ее покрывали краской. Гонт укладывают на крышу в три слоя, в результате чего видимой остается лишь треть каждой дощечки, а остальные две трети прячутся под последующими слоями. Стропильная система под гонт не требует установки сложной и громоздкой конструкции, так как 1 м^2 гонта весит в среднем 15...7 кг. На установку 100 м^2 двускатной кровли, включая стропильную систему и собственно укладку деревянного покрытия, уходит в среднем 2...4 недели.

Иногда, как и деревянные церкви, зажиточные мельники украшали крышу **лемехами** – деревянными «чешуйками», примеры применения этой техники можно увидеть сейчас лишь в заповеднике Кижи и на Соловецких

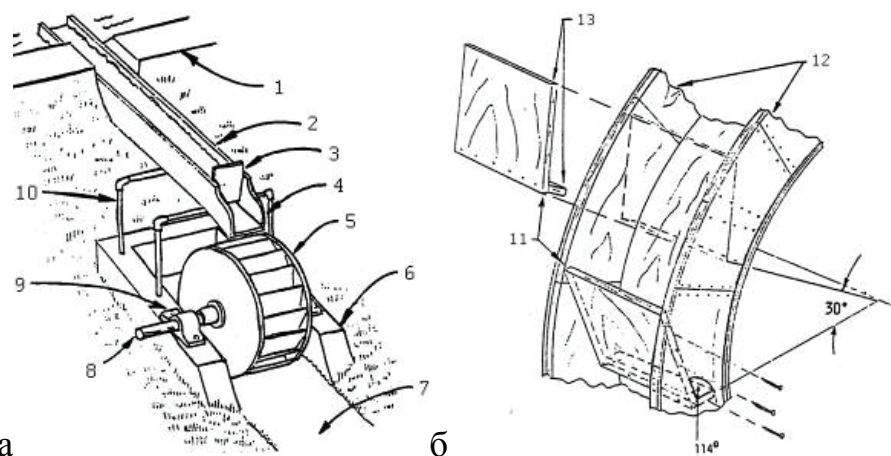


Рис. 3.35. Схема установки overshot колеса (а) и ковша на колесе (б): 1 – плотина; 2 – подводящий лоток, жёлоб или труба; 3 – затвор (шлюз-регулятор); 4 – концевой участок лотка; 5 – водяное колесо; 6 – подпорные стенки камеры колеса в нижнем бьефе; 7 – отводящий канал; 8 – вал колеса; 9 – опорный блок; 10 – опоры лотка; 11 – лопатка; 12 – кожух; 13 – вид одного из 12-ти ковшей

Высокий крутящий момент от работающего колеса, в зависимости от его размера требует и прочной оси (рис. 3.36). Это могут быть деревянные балки или мост от автомобиля или трактора. Большие водяные колёса могут быть сделаны с ободами и спицами. Колёса малого диаметра могут быть изготовлены в виде дисков из твердых пород дерева или стали.

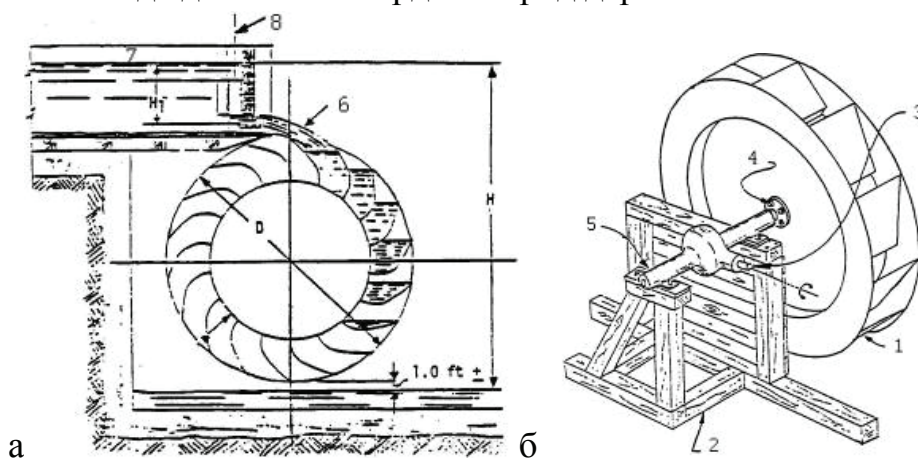


Рис. 3.36. Схемы, иллюстрирующие рекомендации по установке водяного колеса из дерева: а – overshot колесо; б – опорный блок из дерева

- 1- водяное колесо, 2-опора из дерева, 3 – крепление вала; 4 – болты; 5 – шкив зубчатой передачи; 6 – направление движения воды; 7 – русло потока; 8 – паз затвора

Строительство колеса включает в себя сборку четырех его основных частей: диска или спиц колеса; кожухов или ободов; ковшей и монтажной рамы. Наличие других частей определяется работой, которую должно делать колесо. Это могут быть: привод для насоса, жернов или шлифовальный камень, система передач и блоков для производства электроэнергии и т.д. В качестве опор в зависимости от местных условий могут быть деревянные или железобетонные сваи либо опоры из каменной или кирпичной кладки.

полиэстера). Эти материалы имеют высокую прочность, гибкость при отрицательных температурах, а также низкое водопоглощение, что обеспечивает им эксплуатационную надежность в составе кровельного ковра. **Ондулин** – один из популярных кровельных материалов. Представляет собой волнистые листы, изготовленные из целлюлозы, пропитанной битумом.

Для крыш с большими уклонами, поверхность которых видна с улицы, гребня плотины или прилегающей территории, необходимо применять материалы, придающие крыше не только цвет, но и фактуру в соответствии с дизайном окружающей территории усадьбы, парка и материалом основных ГТС. Это штучные материалы, многие из которых использовались при первоначальном строительстве здания мельницы: дранка, тѣс, солома, камышовая выстилка, черепица, натуральный шифер, либо окрашенные в разные цвета плитки на основе асбеста или различных волокон и т.д. Кратко остановимся на самых древних – натуральных кровельных материалах. Более тысячи лет назад на территории Северной Европы и Средней Азии для сбережения тепла в жилищах и обеспечения стока воды строения покрывались **дерном** с мхом и зеленой травой (рис. 5.14). Сегодня зеленые кровли, являющиеся, по сути, результатом развития древнейших технологий, рассматриваются как весьма перспективные для использования не только в частном домостроении, но и в мегаполисах будущего для улучшения городской экологии. Дерновая кровля тяжелее других кровель, и потому для нее нужны мощные стропила и прочный, достаточно плотный дощатый настил. На доски настила на битумной мастике наклеивают не менее двух слоев рубероида с разбежкой в стыках. Если верхний слой рубероида без крупной защитной посыпки, то есть он не кровельный, его надо полностью залить расплавленным битумом и сделать посыпку из мелкой гальки размером 5...10 мм, втопив ее в битум, пока он жидкий. Потом на гидроизоляцию насыпают слой толщиной 5...8 см более крупного гравия и укладывают два слоя травяного дерна. Нижний слой – корнями вверх, верхний – корнями вниз.

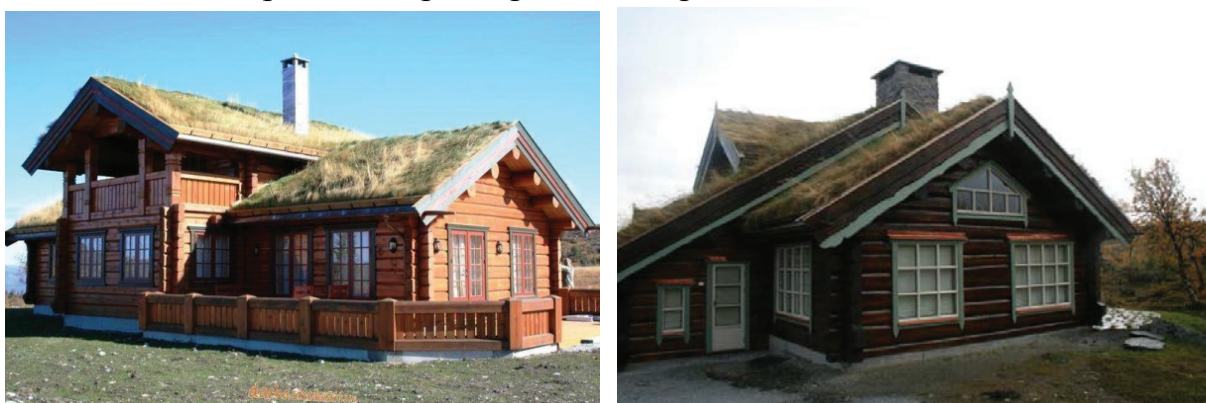


Рис. 5.14. Дома из лафета с «зелёной» кровлей

разваливаться. Как правило, деревянные водяные колёса необходимо периодически заменять. Металлические колёса, выполненные в соответствии с международными стандартами «CNC» из высококачественной оцинкованной или нержавеющей стали, либо алюминиевых сплавов, стойких к воздействию морской воды, предназначенные для генерации электроэнергии, при должном уходе могут работать более 100 лет. Сегодня в странах с развитой энергетикой исторические мельницы активно восстанавливаются. В основном они работают в демонстрационных целях (например, «Wayside Inn» в США). Однако в последние годы водяные колёса в Великобритании, Германии и США адаптируются для производства электроэнергии. Например, металлические водяные колёса немецкой фирмы Бургер-ГЭС способны вырабатывать не менее 20 кВт электроэнергии, фабрики «Waterwheel» – в среднем от 4 до 7 кВт. Ряд старых мельниц Великобритании был реконструирован и модернизирован в соответствии с современными технологиями гидроэнергетики и использован для поддержания мелкого промышленного производства (мельницы «Дэниэлс», «Шропшир», «Little Salkeld» и «Redbournbury» и др.). В Германии в г. Карлсруэ для установления и анализа характеристик и дизайна современных водяных колёс создана гидравлическая инженерная компания «IFMW Ltd», есть ряд действующих заводов в США, Канаде и др. странах выпускающие их. Более подробно об инновационных конструкциях металлических водяных колёс и мельницах можно ознакомиться в работах [80, 81, 83, 85, 86, 101].

Схематические изображения основных разновидностей водяных колёс различного назначения, встречающиеся сейчас за рубежом, которые строят в зависимости от конкретных условий местности и водотока, представлены на рисунке 3.37.

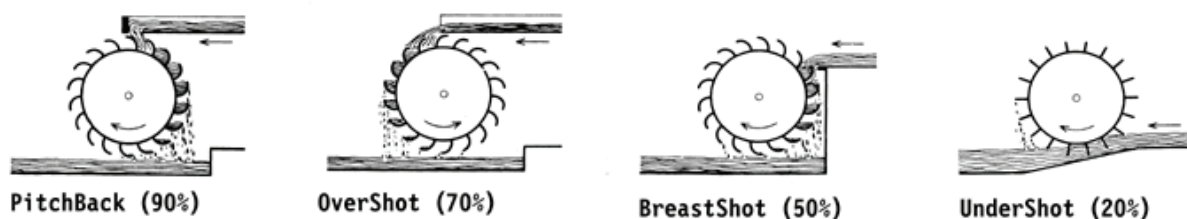


Рис. 3.37. Типы водяных колёс, распространённых в США (в скобках указан возможный максимальный к.п.д.)

Между этими типами колёс существует большое количество промежуточных форм. Современные металлические водяные колёса объединяет то, что они используют в основном, энергию воды и атмосферное давление. Современной версией, комбинирующей особенности колёс overshot и breastshot, является турбина Ба'нки, которая стала весьма популярной в Европе (рис. 3.38 и 3.39).

Форма крыш мельничных зданий чаще всего была **скатной** либо **мансардной**, реже **шатровой**, **вальмовой** и т.п. Для надёжной теплозащиты мансардного этажа применяется вентилируемая кровля, при которой обеспечивается полное омывание наружным воздухом всего подкровельного пространства от карнизов до конька крыши. При плохой вентиляции любой способ защиты древесины от плесени, грибков малоэффективен. Самая надёжная крыша в условиях российского климата – двускатная. Угол наклона крыши должен быть не менее 45° , а окончание стропил нужно выносить как можно дальше за карниз, насколько позволяет конструкция. Деревянная стропильная система крепится на мауэрлат – деревянный венец, смонтированный по верхним рядам стен.

Стропильная система кровли деревянного здания мельницы обычно выполняется из пиломатериала хвойных пород. Для увеличения срока службы элементы стропильной конструкции обрабатываются антисептиками и антипиреновыми растворами. При выборе материала для крыши учитывают её конструкцию. В одном стиле с покрытием выполняются системы водостока. Крыша деревянного здания должна быть целостной и не пропускать никаких осадков, а ремонт при надобности должен проводиться своевременно.

Все современные **кровельные материалы** по их внешнему виду и размеру условно можно разделить на следующие группы:

- **штучные** (черепица, природный шифер, мягкая черепица, дранка, гонт и т.п.);
- **листовые** (асбестоцементные, металлические плоские и др.);
- **рулонные** (пергамин, рубероид и их современные модификации – полимербитумные композиции на синтетической и стекловолоконистой основах: изофлекс, технониколь, филикровля, катепал и т.п.; полимерные композиции, состоящие из рулонного основания и наливного атмосферостойкого покрытия, и др.);
- **мембранные** (резиновые и полимерные мембраны);
- **мастичные** (битумные и полимерные мастики).

В качестве кровельного материала в современном варианте можно использовать натуральную глиняную и металлочерепицу, гибкую битумную черепицу, оцинкованные листы, камыш. Кстати, лучшими материалами для кровли на сегодняшний день являются **кровельная медь** или титан-цинк при фальцевом способе монтажа. Это самый дорогой вид кровельного материала: 20...30 долларов за 1 м^2 . Имеет длительный срок службы: более 100...150 лет. Со временем меняет свой цвет, покрывается бронзово-коричневой защитной патиной (через 10...15 лет крыша приобретет малахитово-зеленый оттенок). Медными кровельными листами можно покрывать любую скатную кровлю, так

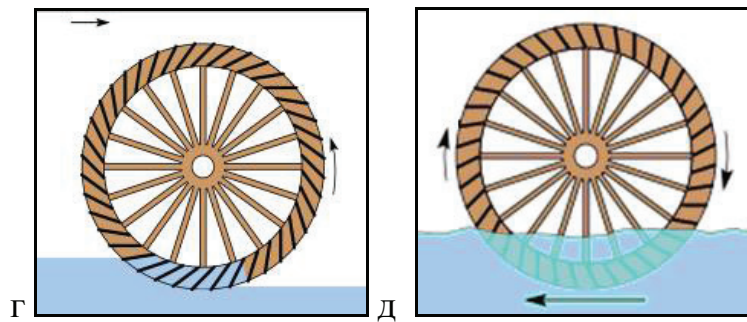


Рис. 3.40. Схемы зарубежных водяных колёс: верхненаливные колеса Overshot wheel (а) и Pitchback wheel (б); колесо Breastshot (в); подливные колёса Undershot wheel с «палубой» (г) и без «палубы» (д)

Основное отличие колеса pitchback от колеса overshot состоит в том, что направление движения, поступающего на колесо pitchback водного потока противоположно направлению его вращения, т.е. стекающая вода идёт вниз за водяным колесом. Противоточное колесо сочетает в себе преимущества overshot и средненаливного breastshot колеса, поскольку при вращении колеса наиболее полно используется запас энергии воды. Поэтому такое колесо зачастую работает даже в тех условиях, когда колесо овершот уже функционировать не может (рис. 3.41).

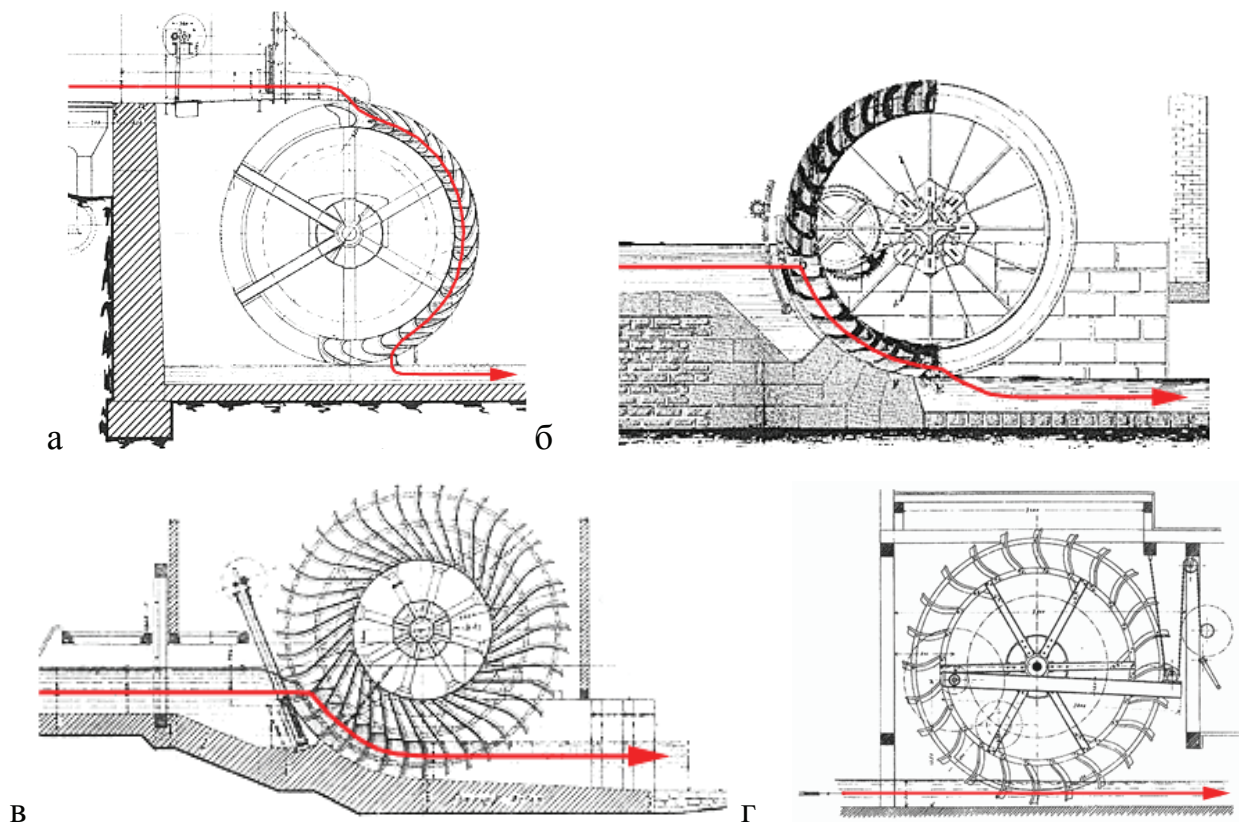


Рис. 3.41. Конструктивные схемы исторических водяных колёс с металлическими лопастями: а – верхненаливное (overshot), 1899 г.; б – средненаливное (breastshot), 1849 г.; в и г - подливное (undershot), соответственно типа «Zuppinger», 1899 г. и «Vitruvian»
Иногда к противоточным колёсам (также называемым **backshot**)

Интересным примером использования местного экологичного материала является возведение небольших домов со **стенами из соломы**. Высокими теплотехническими свойствами обладает солома пшеницы, ржи и ячменя. Дом, который построен из соломы или соломенных блоков, получил название – **экодом**. Их чаще всего делают с деревянным каркасом, когда несущим элементом дома является деревянный каркас, а пространство между элементами каркаса заполняется соломой, хотя они могут быть и бескаркасными из соломенных блоков. Конструкция каркасного дома намного прочнее бескаркасной, но стоимость дороже за счет применения большего количества древесины. Каркасные соломенные дома можно проектировать и строить сложной конструкции с различным типом крыши, что невозможно сделать при использовании бескаркасной технологии. Для опирания стропильных конструкций поверху стен из соломенных блоков выполняется распределительный пояс из толстых досок. Фундаменты таких домов обычно ленточные или свайные.

Для строительства используют два типа соломенных блоков: спрессованные сухие и обмазанные глиняным раствором (рис. 5.11,а). Соломенные блоки из сухой соломы изготавливают в прессах, весом до 25...40 кг, чтобы укладывать вручную. В прессах солома после уплотнения должна быть связана пластиковыми скрепами. Для повышения жёсткости стен при укладке блоков они прошиваются арматурой посередине сечения. Блоки кладут на цементном растворе. Компания Oryzatech специализируется на изготовлении спрессованных строительных огнестойких блоков из рисовой соломы размером 12×12×24 дюйма весом в 13 кг (рис. 5.12,б), собирающихся как конструктор Lego.



Рис. 5.12. Соломенные блоки: а – обычный (слева) и обмазанный глиняным раствором (справа); б – спрессованные блоки

Специально предусматривается надёжная гидроизоляция в уровне стыка с фундаментом. Кровли должны нависать над стеной в виде козырька вылетом не менее 0,5 м для защиты от увлажнения. Стена покрывается слоями штукатурки снаружи и внутри для защиты, придания эстетичного вида, повышения прочности. Поэтому штукатурят такие стены по сетке, с

улучшения геометрии устройств и разработки соответствующих условий оттока к.п.д. достиг значения 0,873 [54, 56].

Водная компания «Fitz» США, специализирующаяся на выпуске современных цельностальных колёс overshot и backshot (рис. 3.44), за счёт специальной формы ковшей и правильно подобранных по запатентованной методике габаритов колёс, выпускает колёса с к.п.д. более 0,9.

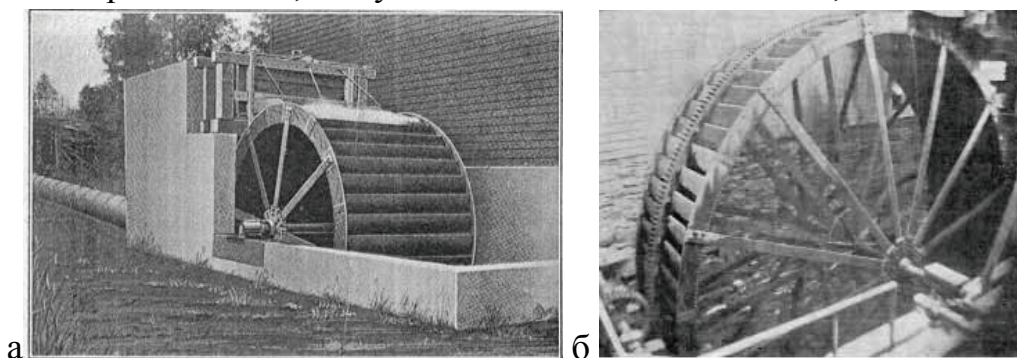


Рис. 3.44. Примеры стальных водяных колёс «Fitz» Общества Сохранения Старых Заводов (США): а - на заводе братьев Брюс, Онтарио; б – «Falls Mill»

В Техническом Университете Штутгарта (Германия) в 1979 г. были проведены исследования, которые показали, что колесо Undershot, в частности, колесо Цуппингера, до сих пор работает на некоторых мельницах Германии лишь с некоторыми заменёнными деревянными лопастями и оригинальным подшипником скольжения (с резиновой втулкой). К.п.д. такого колеса составляет по данным измерений соответственно 0,71...0,77 при $Q/Q_{max} = 1...0,5$ (рис. 3.45), несмотря на наличие зазоров с каждой стороны от стены в 50 мм и между лопастями в 30 мм. Расход и выходная мощность были измерены при частоте вращения колеса 4,85 об/мин при двух расходах 1,48 и 3,1 м³/с. Кривая эффективности на рисунке 2.41 построена по форме кривой эффективности для верхнебойных колёс и на неё нанесены две измеренные точки [54, 56].

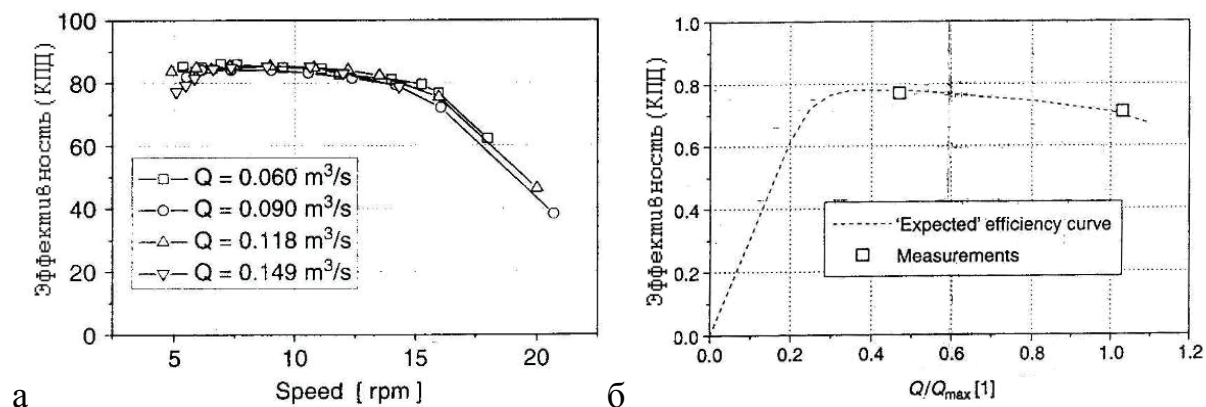


Рис. 3.45. Зависимости эффективности работы подливного колеса Цуппингера, разработанного для напора 1,36 м, расхода 3 м³/с, диаметром 6 м, шириной 2,5 м от скорости колеса (а) и расхода водотока (б) (исследования Технического Университета в Штутгарте, Германия, 1979г.)

дверных проёмов изготавливают из древесины хвойных пород ГОСТ 8484-86 влажностью не более 15 %. Древесина должна быть для коробок – отборная, для рам и полотен дверей – 1 сорт. Не допускается применение древесины с ребровыми и пластовыми сучками. Массивные части коробок и обвязок допускается выполнять из клеёной древесины с выборкой поверхности склеивания «в четверть».

Крепление дверных блоков производится по месту с помощью жиковин и подставов. Жиковины, кованые гвозди и засовы выполняют из прокатной стали. При установке в натуре все металлические детали очищают до блеска, обезжиривают уайт-спиритом и окрашивают 2 раза свинцовым суриком, 1 раз – грунтом и 2 раза – эмалью. Цвет тонировки древесины и колер металлических скобяных деталей должен подбираться в присутствии представителей архитектурного надзора и согласовываться с архитектором исторического объекта.

В настоящее время, помимо рубленых строений, всё большее распространение получают **каркасные дома** (примерно 20 %), в которых несущим элементом является деревянный каркас из цельной или клеёной древесины. Стены каркасных зданий являются самонесущими и выполняются тонкими с утеплителем. Снаружи такие стены могут быть покрыты слоем деревянной облицовки, напоминающим тонкие брёвна (например, блок-хауз). Стальные или деревянные стойки каркаса устанавливаются с шагом 600 мм, к ним крепят наружную и внутреннюю облицовки и утеплитель. Пространство между каркасом заполняется эффективным утеплителем (стекловата, стекловолокно и др. изоляционные материалы) и «зашивается» с внутренней и внешней стороны. Эти конструкции более экономичны, чем рубленые: меньше расход древесины, высокий уровень заводской готовности, проще в строительстве, не требуется возведения массивных фундаментов. Они не должны выстаиваться. Срок строительства таких зданий всего 4...6 месяцев, но по прочности они уступают срубам.

Даже уже не новые деревянные строения из-за перепада влажности подвержены сезонным колебаниям размеров, которые иногда могут достигать до 10% высоты проема. Для защиты оконных и дверных проёмов от деформации в результате набухания, высыхания, усадки сруба или другого деревянного строения необходимо устройство **обсады** или **окосячки** – это деревянный короб, состоящий из стояков (боковых стоек), вершинника (верхней перекладины) и порога или подоконника, снимающий нагрузку, дополнительно усиливающий проём и удерживающий оцилиндрованное бревно, не позволяя ему смещаться по горизонтали (рис. 5.10). Боковые стойки обсады имеют одинаковое конструктивное решение, а горизонтальные –

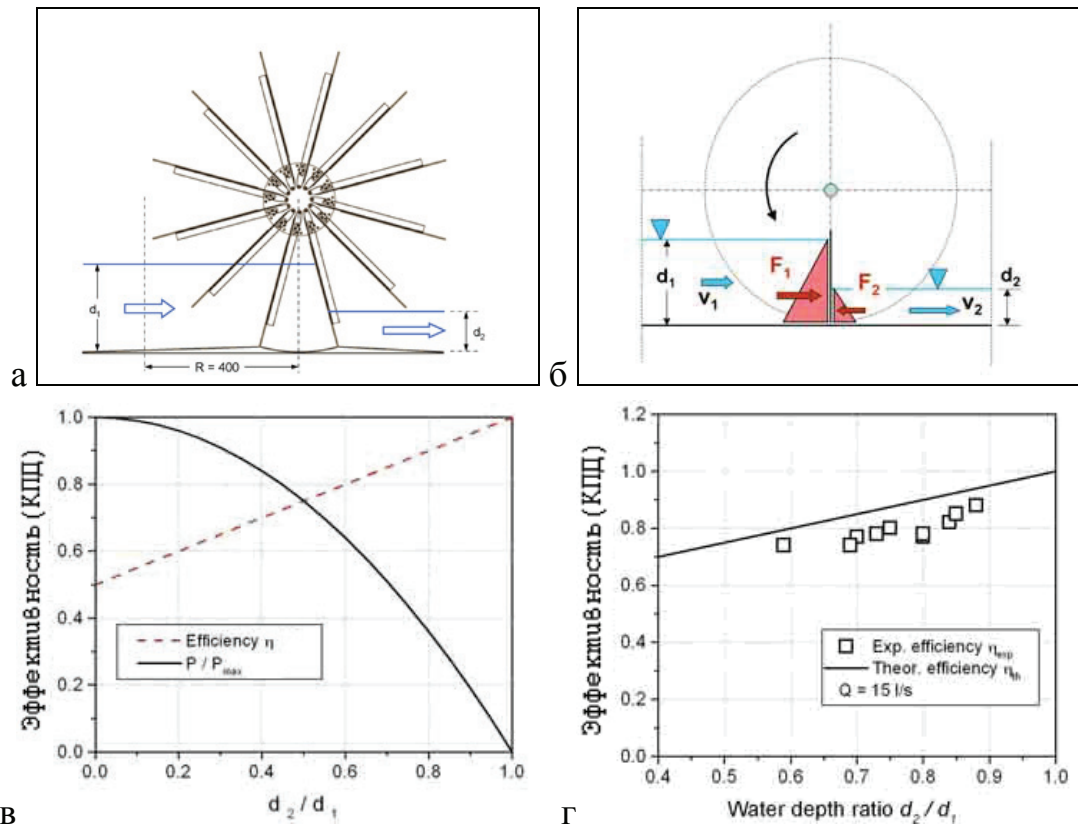


Рис. 3.48. Результаты исследований и расчётов НРВ: а – экспериментальная установка НРВ; б – расчётная схема, поясняющая принцип действия; в – теоретическая кривая; г – экспериментальные и теоретические зависимости

Преобразователь гидростатического давления использует разность уровней перед гидродвигателем и ниже по течению за ним. Простейший НРС состоит из подливного колеса большого диаметра с радиальными плоскими лопастями, которые движутся со скоростью потока. Этот особый преобразователь энергии водного потока был назван авторами **конвертером гидростатического давления (НРВ)**.

Набегающий на лопасть поток со скоростью V_1 , с которой движется и сама лопасть, обладает мощностью

$$N_{исх} = \rho g V_1 d_1 (d_1 - d_2), \quad (3.21)$$

где d_1 и d_2 – глубины потока соответственно перед и за колесом; ρ – плотность воды; g – ускорение свободного падения.

Радиус колеса принимается много больше глубины в верхнем бьефе d_1 . Глубина d_2 считается постоянной и поддерживается плотиной, расположенной ниже по течению. Русло водотока имеет слегка изогнутую форму.

При этом на одну лопасть оказывается силовое воздействие, равное

$$F = \rho g \frac{d_1^2 - d_2^2}{2}. \quad (3.22)$$

Считая радиус колеса бесконечным и положение лопасти строго вертикальным, получаем воспринимаемую лопастью мощность

внешней отделки нуждаются в защите от влаги, ультрафиолетовых лучей, насекомых и плесени.

Рубленые стены выполняются из бруса или бревна хвойных пород естественной влажности. Для бруса лучше использовать только отборный, здоровый лес хвойных пород. Стены как бревенчатого, так и брусового здания складываются из венцов. Это прямоугольная конструкция, состоящая из уложенных друг на друга брёвен или брусьев, скреплённых между собой в углах замковым соединением (в «чашу» или в «обло») (рис. 5.5).

Первый, или окладной, т.е. нижний венец часто не отёсывают. Для него следует брать самую высококачественную древесину. Для возведения стен из профилированного бруса делается поочередное выкладывание рядов из бруса, а каждый последующий ряд соединяется с предыдущим при помощи нагелей (шипов), которые не дают смещаться брусу и обеспечивают вертикальность деревянных стен. Нагели изготавливаются из дерева или металла. Металлические нагели, более надежные, нежели деревянные. Круглый нагель (шип) должен быть диаметром 25...30 мм, прямоугольный – для брёвен до 220 мм имеет размеры 25x60x120 мм. Деревянные нагели изготавливают из сухой, плотной древесины (дуб, бук, ясень). От углов стен нагели отстоят на расстоянии 200...250 мм, а друг от друга – 1,5...2 м. При установке нагеля в гнездо он не должен доходить до дна на 8...10 мм, что поможет избежать растрескивания сырых брёвен при усушке.

При использовании сруба в зимнее время необходимо обеспечить теплосбережение. Оно в значительной мере зависит от способа и качества рубки углов срубного строения. Оцилиндрованное бревно и брус, как правило, рубятся «в чашу», реже «в лапу» с плотной конопаткой (рис. 5.9).

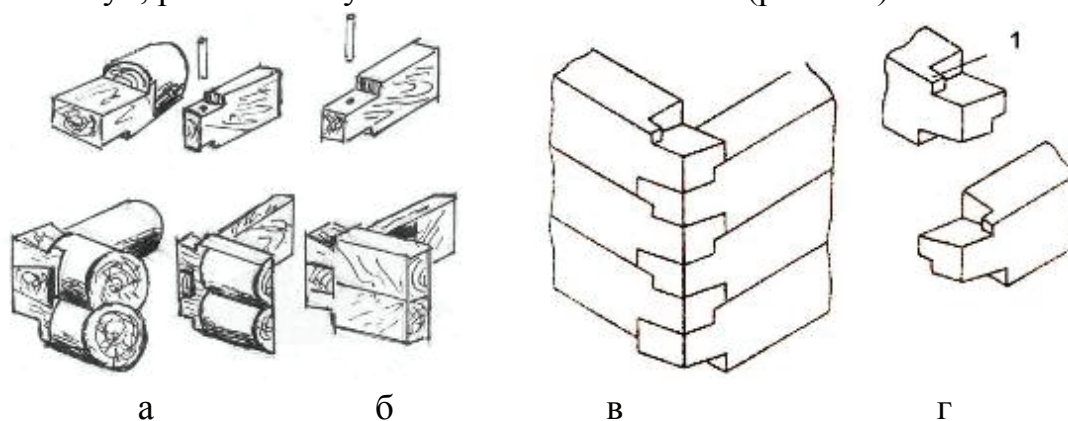


Рис. 5.9. Угловое соединение сруба: а – из брёвен в косую «лапу»; б – из пластин в простую «лапу»; в – из брусьев или толстых досок в простую «лапу»; г – из брусьев с коренным шипом (1)

Более сложные зарубы редко применяются в заводских условиях, а при ручной рубке у каждого мастера существуют свои различные способы и

эффективным и прочным низконапорным преобразователем энергии. Разработанные в проекте «HYLOW» новые конструкции и технологии конвертора энергии и водяных колёс предполагается оценивать для применения в развивающихся странах, где особый акцент делается на использовании местных материалов, местного производства и эксплуатации островов. Это будет способствовать использованию потенциала малых рек и ирригационных систем для нужд сельской электрификации.

По зарубежным данным период окупаемости составляет для верхненаливных колёс 7,5 лет и 12...14 лет для нижнебойных с предполагаемым сроком эксплуатации в 30 лет. Эти сравнения благоприятны по сравнению с установкой поворотно-лопастной турбины, когда периоды окупаемости в 25...30 лет могут быть ожидаемы. Поэтому водяные колёса по мнению зарубежных специалистов [47, 54, 56, 58] могут быть экономически интересным вложением даже в индустриальных странах (рис. 3.49). Более подробно вопросы конструирования и расчёта металлических водяных колёс, используемых в электроэнергетике, рассматриваются в [47].



Рис. 3.49. Мини-ГЭС: а – плавающая на понтонах; б - с колесом Цуппингера и генератором. Германия, 2007 г.

Для получения мощности примерно до 1,5...2,5 кВт можно рекомендовать комплексные решения, например, установить внутри здания водяной мельницы турбину (рис. 3.50а).

строения. Высокие теплоизоляционные свойства материала позволяют минимизировать расходы на отопление. Антисептирование стенового материала и балок значительно увеличивает срок службы деревянного дома. Здания из клеёного бруса при надлежащем уходе могут прослужить более 150 лет. Однако цена одного квадратного метра строения из клеёного бруса примерно в 1,2...2 раза выше, чем из оцилиндрованного бревна, непрофилированного или профилированного строганного бруса. У клееного бруса 150x150 может быть квадратное сечение, немецкий, финский либо любой другой профиль, но в любом случае стоимость за 1 м³ на такой пиломатериал мало зависит от размера его сечения. Компания «Wooden Hause» разработала полый клеёный брус, что позволяет на 10 % снизить стоимость стеновых элементов. Наличие полостей позволяет облегчить вес конструкции, упростить прокладку всех коммуникаций, поднять коэффициент сопротивления теплопередаче, заполнить полости утеплителем и т.д. Полые брёвна изготавливают как с одной, так и с двумя параллельными полостями по принципу стеклопакета. Технология возведения стен таких зданий имеет много общего с бревенчатыми домами, различие присутствует в выполнении угловых стыков венцов. Прямоугольное сечение бруса, а также использование сложного гребенчатого профиля бруса исключает вероятность образования щелей и обеспечивает жёсткую стыковку брусьев в срубе. Использование клееного бруса в строительстве относительно юно, и как поведет себя строение через, например, 50 лет, пока сказать нельзя.

При строительстве домов из **профилированного бруса**, который точно ложится в стену, используют два варианта соединения: соединение с остатком и соединение без остатка (рис. 5.8). При сборке конструкции без остатка углы сооружения остаются ровными, если же применялось соединение с остатком, то на углах сооружения будут выступы, которые впоследствии будут защищать стены от больших напоров ветра, дождя. Соединение с остатком может иметь виды: в «обло», в «охлоп», в «охряп», и делает сооружение из профбруса более устойчивым. Соединение профилированного бруса с остатком может быть односторонним, двусторонним, четырехсторонним. В зависимости от того, какой вариант выбирается, на профбрусах делаются пазы, количество которых определяет само название соединения. Соединение венцов по типу «шип-паз» придаёт необходимую жесткость всей конструкции. Использование профиля бруса типа «гребенка», обеспечивающее соединение без зазоров, исключает потери тепла от сквозняков. При этом сборка сруба производится на березовых нагелях, что дает возможность смежным брусьям при усадке сохранить плотный контакт, в то время как сборка на гвоздях приводит к «зависанию» брусьев и происходит открытие зазора в соединении. Для герметизации венцов

приведения в движение генераторов с большим числом оборотов (750...1000 б/мин) и малой мощностью использование малооборотных колёс вообще нецелесообразно;

- низкий коэффициент полезного действия;

- поскольку регулирование работы водяных колёс за счет изменения открытия впускного щита достаточно сложно, регулирование числа оборотов производили путём посадки жерновов, т.о. временно искусственно увеличивая нагрузку до прикрытия впускного щита в подводящем лотке;

- высокая стоимость гидротехнических сооружений, в особенности плотины. Стоимость их иногда более чем в 2 раза превышала стоимость мельницы и гидросиловой установки;

- зависимость количества вырабатываемой энергии от времени года. Из-за обмерзания в зимний период снижалась производительность водяных колёс и усложнялись условия их эксплуатации. Иногда для защиты мельничного колеса от замерзания и его остановки над ним делали «теплек» из соломенного шатра.

Анализ имеющихся литературных источников показывает, что устройство водяных колёс и их характеристики не изучены досконально. Нет объективных рекомендаций по границам их применения, не выявлены оптимальные эксплуатационные режимы их работы, не выполнено сопоставление энергетического потенциала колёс с турбинами различных типов, например, таких как поворотнолопастные или осббергер [47]. В современной учебной и научной литературе по гидравлике и гидроэнергетике водяные колёса не упоминаются, а в старых изданиях информация о колёсах минимальна [8, 10, 49]. Данные об особенностях работы водяных колёс в значительной мере утеряны.

В настоящее время практически отсутствуют отечественные публикации по методам конструирования, расчёта и по опытным характеристикам верхненаливных колёс. Нет научно обоснованных рекомендаций по области применения и габаритам различных видов деревянных и металлических водяных колёс. Зачастую они проектируются с использованием методов расчёта, разработанных более 100 лет назад.

По средненаливным и нижнебойным колёсам какие-либо рекомендации практически отсутствуют не только в отечественных, но и в зарубежных публикациях. Поэтому необходимо детальное их изучение.

Верхненаливные водяные колёса, используя преимущественно потенциальную энергию потока, преобразуют её с достаточно высокой эффективностью (более 85 %) в механическую энергию в широком диапазоне изменения параметров потока $0,2 \leq Q/Q_{max} \leq 1$. При нижнебойных колесах к.п.д.



Рис. 5.6. Пример дома из лафета

В отечественном строении иногда под лафетом имеется ввиду двускатный или **двукантный брус**, часто лежень, то есть специальным образом опиленное бревно (и, как правило, даже без снятой с двух сторон коры), которое укладывается в горизонтальной плоскости и в основном используется в роли несущей конструкции, например, лаг перекрытия. По сравнению с бревном, лафет, как и все виды бруса, отличается меньшей устойчивостью к гнили и плесени, поскольку с его торцов срезан слой заболони, отличающийся высокой устойчивостью к этим поражающим факторам. Поэтому лафет требует более серьезной защитной и асептической обработки, чем очищенное или неокоренное бревно. Благодаря способу обработки бревен и их укладки внутреннее помещение здания из лафета имеет бо'льшую полезную площадь в сравнении с сооружением аналогичных наружных размеров из оцилиндрованного бревна. Ведь стены таких домов тоньше, чем в бревенчатых. По внешнему виду здание из лафета уступает дому из двойного, профилированного или клееного бруса, хотя трещины создают ему больший вид «под старину». Таким образом, можно считать «северный дом» более экономичным, чем обычный сруб.

Самым высококлассным современным стеновым материалом из массива древесины считается **клеёный брус**. Он наиболее технологичен. Технология производства материала требует использовать в его изготовлении только высококачественную древесину (как правило, хвойных пород), прошедшую камерную сушку, после которой влажность всех элементов клеёного бруса составляет около 10...12%. Специально подготовленные доски простругиваются с четырёх сторон для получения точной геометрической формы, а также выявления пороков древесины. Затем полученные заготовки проходят отбор по порокам древесины, после чего дефекты вырезаются.

выполняют только из металла. Они должны быть легко управляемыми в большом диапазоне изменения основных параметров водного потока и иметь высокие эксплуатационные характеристики. С изобретением электрического мотора, начиная примерно с 1940 г., водяные колёса как источник энергии практически исчезли.

ГЛАВА 4. КОНСТРУКЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ВОДЯНЫХ МЕЛЬНИЦ

4.1. Плотины

Поскольку именно плотина являлась основным гидротехническим сооружением мельничного гидроузла, то выбор места постройки мельницы обычно тесно связан с местом сооружения плотины. Правильный выбор створа плотины обеспечивает удобное устройство самой мельницы и экономичность её эксплуатации. При проектировании новой плотины выбор створа гидроузла обычно осуществляется на основе технико-экономического сравнения нескольких вариантов компоновки в зависимости от рельефа, территориальной доступности, минимального объёма работ и других условий района строительства. При выборе створа плотины учитываются многочисленные факторы [4, 35, 38, 41, 46, 49], в числе которых определяющими являются: топографические характеристики речной долины и ложа водохранилища, инженерно-геологические и гидрологические условия, местоположение и объём карьеров строительных материалов, технология строительства плотины, а также возможность рационального размещения постоянных и временных водопропускных сооружений. Наибольший интерес при возведении мельничных гидротехнических комплексов представляют плотины из местных строительных материалов, а для территорий, богатых лесом – из древесины. Целиком бетонные или железобетонные подпорные сооружения для небольших низконапорных мельничных гидроузлов экономически не выгодны, не экологичны и исторически не оправданны, поэтому далее будут более подробно рассмотрены основные аспекты проектирования и строительства плотин из местных материалов.

Створ плотины следует выбирать в самом узком месте речной долины (рис. 4.1), что обеспечит минимальный объём насыпи грунтовой плотины и, соответственно, меньшую её стоимость.

воздействия окружающей среды, а также поддержание температуры и влажности в комфортных для человека пределах. В деревянном зодчестве сейчас используются: оцилиндрованное бревно; непрофилированный и профилированный брус – простой или клеёный; ошкуренное бревно, подвергнутое минимальной обработке.

Достоинством **оцилиндрованного** бревна является ровная округлая форма, позволяющая достичь плотного соединения брёвен. Сруб из него достаточно отшлифовать и покрасить антисептиком. Однако для того, чтобы обеспечить одинаковое теплосбережение, диаметр оцилиндрованного бревна должен быть больше, чем толщина бруса, из-за наличия «мостиков холода» в местах соединения брёвен. Это может сделать такой сруб более дорогим. Но, учитывая, что сруб из **бруса** обычно предполагает утепление и обшивку, то стоимости рублёных домов уравниваются. Срубы требуют длительной усадки (по мере высыхания дерева). Если сруб делают из просушенной или использованной ранее древесины (готовый сруб), то на усадку достаточно 1 года, если из сырой – то после сборки сруб должен выстояться 3...4 года. Срубные строения из **утеплённого бруса**, обшитого снаружи вагонкой типа «блок-хаус», имитирующей бревно, считаются специалистами оптимальным современным и комфортабельным решением.

Непрофилированный брус внешне недостаточно эстетичен в отличие от профилированного бруса; поскольку непрофилированный брус является продуктом естественной влажности, то примерно 20 % такого материала подвержено поражению грибом. А когда строение начинает давать усушку и усадку, то на стенах возникают трещины, которые могут быть достаточно существенными. **Обычный брус** – это древесный материал, который производится из бревен путем срезания их сторон – окантовки. В зависимости от количества сторон различают виды бруса двух, трех и четырехкантный брус. Исключением является так называемый **клееный брус**, его производят путем соединения большого количество досок-ламелей. **Доски** производят либо из брусьев, либо из бревен в зависимости от обработки, эти пиломатериалы могут быть необрезными и обрезными. По размерам пиломатериалов различают: при отношении толщины к ширине меньше, чем $1/2$ – **доска** (если толщина до 100 мм). Если же данное соотношение несколько больше либо равно $1/2$ – **профилированный строганный брус** (профбрус). Хотя в последнем варианте различают брус и брусок. Если при подобном соотношении параметров толщина либо ширина менее 100 мм, то это **брусок**. Все остальное считается брусьями. К примеру, 100×200 , профилированный брус 150×150 , профилированный брус 200×200 и т.п. Главное назначение обычных досок – отделочные работы.

– необходимо заранее предусматривать удобство сообщения мельницы с проезжими дорогами, что важно, как для подвозки материала при строительстве и эксплуатации, так и при посещении её в процессе эксплуатации экскурсантами, посетителями парковой приусадебной территории и пр. Мост, проходящий через приплотинные сооружения, и дорога на гребне плотины часто бывают проезжими, но иногда только пешеходными, поэтому необходимо реконструировать их или организовать специальные подъездные дороги к мельнице;

– если гидроузел имеет своим основным назначением использование энергии речного потока, то целесообразно располагать плотину на участке реки с наибольшим уклоном;

– глубина водохранилищ, особенно зарыблённых, питающихся в основном талыми водами, во избежание их интенсивного эвтрофирования к концу лета и промерзания зимой, должна быть у плотины не менее 3...4 м.

При сборе и изучении материалов, предназначенных для проведения реконструкции приусадебной водной системы, иногда в результате архивных поисков или при их визуальном обследовании становится известным первоначальное место расположения мельницы. В этих случаях целесообразно стремиться, по возможности, сохранить историческую компоновку всего гидроузла, а при невозможности вернуться к изначальной компоновке перенести мельницу в наиболее удобное место.

Запруду (плотину) на мельничных гидроузлах раньше выполняли из подручных средств: выкладывали из пластин дёрна, закреплённых жердями, кольями, хворостяными выстилками, дубовыми сваями; строили деревянные плотины и насыпные плотины из земли. Например, при строительстве дамбы для мельничного пруда Юратас в Латвии (1782 г.) использовались камни из стен бывшего замка и брёвна хвойных пород. Все связующие элементы самой мельницы были деревянными. Мельница прекратила свою работу в 2001 г. Её последняя реконструкция была проведена в 1996 г., когда здесь соорудили четыре искусственных острова, дамбу и мини-ГЭС.

В зависимости от способа сброса воды из мельничного пруда плотины разделяются на: **глухие**, не допускающие перелива воды через гребень; **щитовые или комбинированные**, в которых вода сбрасывается через водосливные отверстия плотины; **водосливные**, рассчитанные на перелив воды через гребень плотины (используются довольно редко). Глухая плотина не имеет каких-либо сооружений для сброса излишней воды и полного осушения водоёма. Лишняя вода может сбрасываться в весеннее время через отводной канал или резервный водосброс в понижение местности. Устройство такого естественного водосброса в расположенную рядом с плотиной балку или

предусматривает вырезку или вырубку чаши в верхнем бревне, размер и форма которой соответствуют нижнему бревну. Таким образом, каждый верхний венец удерживает от расползания венец, находящийся под ним. Соединение в охряп предусматривает создание одинаковых, но развернутых на 90° замков в верхнем и нижнем брус. Ширина замка равна половине диаметра бревна, а глубина равна четверти диаметра.

Для вырубki чашек применяли топор, который был основным плотницким инструментом. При помощи этого универсального инструмента выполняли практически все работы: от рубки леса, стен, кровли до резных декоративных элементов, украшавших фасады. Известно, что пила разрушает древесные волокна, поэтому пиленая древесина более подвержена увлажнению и загниванию. Бревна, обработанные топором, как бы закупориваются под его ударами и становятся менее гигроскопичными. Несмотря на то, что пила на Руси была известна давно (она была завезена в Россию при Петре I), долгое время пользовались ею относительно редко.

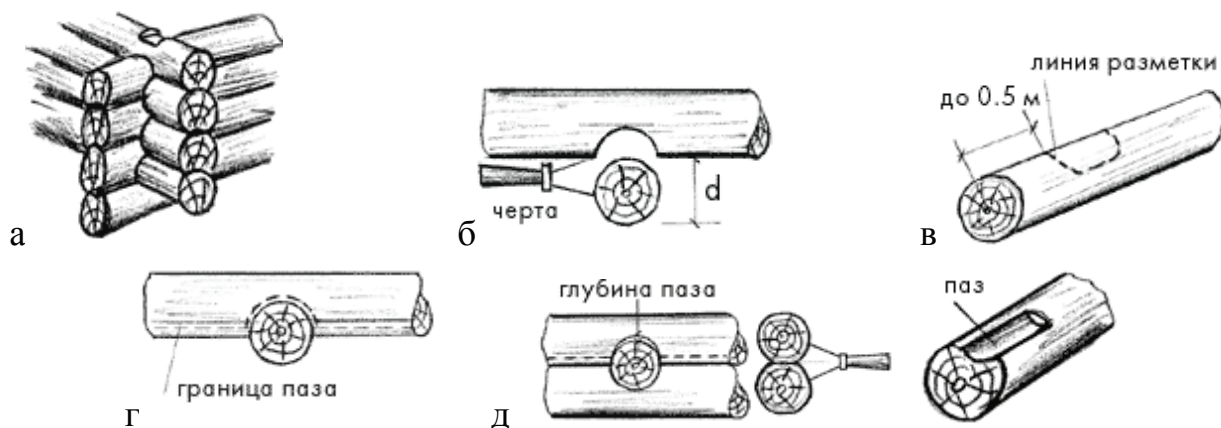


Рис. 5.5. Рубка углов деревянного сруба: а – «в обло» («в чашку») – простое соединение; б – разметка чашки; в, г – вырубка чашки; д – разметка паза и вырубка

Древесина, как природный материал, наряду с известными достоинствами, обладает и рядом недостатков, которые необходимо учитывать при гидротехническом строительстве. Так, в старину при строительстве деревянных домов в основном применяли брёвна, очищенные от коры. Считалось, что брёвна нельзя тесать, а нужно лишь ошкурить – так сохраняется «подкорьевая оболонь», защищающая бревно от гниения. Недостатком этого способа является его нетехнологичность, обусловленная естественными неровностями дерева. Кроме того, целесообразно, чтобы древесина была «зимней», т. е. была заготовлена зимой. В этот период она меньше всего подвержена гниению и короблению. Брёвна хранились 2...3 года и лишь после этого использовались в строительстве. Выдержанная древесина почти не трескается и её легче обрабатывать. В древности лес под строительство рубили не только в определённое время года, но и в определённое время суток, а

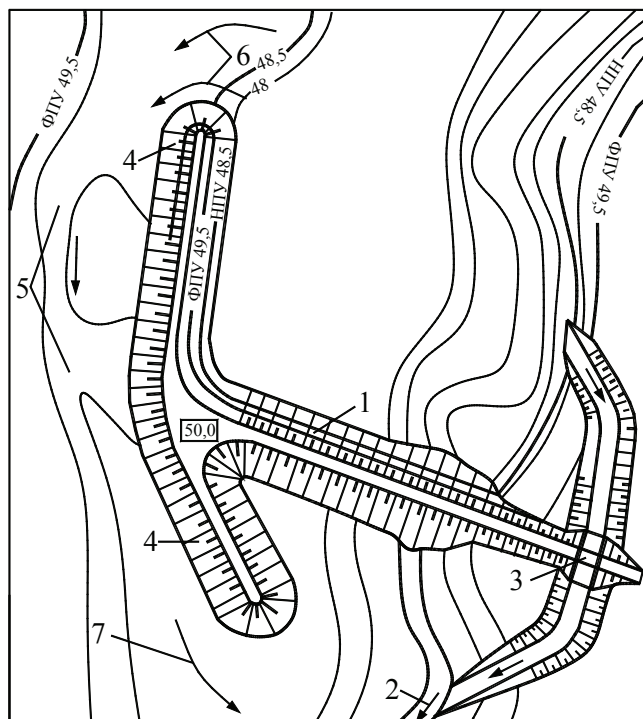


Рис. 4.3. **Гидроузел с пропуском части расхода через пойму [44]:** 1 – грунтовая плотина; 2 – русло водотока; 3 – поверхностный открытый береговой водосброс; 4 – струенаправляющая дамба; 5 – пойма, по которой пропускается часть паводков; 6 – выход потока на пойму при отметках верхнего бьефа выше НПУ; 7 – выход потока с поймы в основное русло

При постройке мельничных низконапорных плотин представляется наиболее целесообразным в настоящее время применять плотины, при сооружении которых широко используются местные строительные материалы: **грунтовые** (чаще **земляные**), **деревянные** и **каменные** плотины.

В России, да и во всём мире сегодня самыми распространёнными подпорными сооружениями являются **грунтовые** плотины, возводимые из естественных (глинистые, песчаные, крупнообломочные) или искусственных (грунты природного происхождения, закреплённые и уплотнённые различными методами, смеси естественных грунтов, твёрдые отходы промышленной и хозяйственной деятельности и др.) грунтов. По материалам различают три основных типа плотин: **земляные** – в основном (более 50% объёма тела плотины) из песчаных и глинистых грунтов (рис. 4.4а, б); **каменно-земляные**, одна часть поперечного профиля которых выполнена из крупнообломочных, другая – противодиффузионное устройство (ПФУ) из мелкопесчаных или глинистых грунтов (рис. 4.4в, г, д); **каменно-набросные** – возводимые из крупнообломочных грунтов с ПФУ (если оно требуется) из негрунтовых материалов (рис. 4.4е, ж).

Искусство домостроения передавалось по наследству на протяжении многих поколений. Деревянные дома собирали из "клетей" (срубов) безгвоздевым способом с большим разнообразием плотницких приемов. В районах, богатых лесными массивами, для жилья использовали преимущественно хвойные породы (сосна, ель и лиственница), реже лиственные, среди которых предпочитали дуб. Срубные постройки вкапывали в землю, а сверху крышу засыпали грунтом. Проемы в стенах делали невысокими, чтобы не перерубать большое число бревен и максимально сократить потери тепла. Волоковые окна совсем не нарушали этой связи, их вырубали на полбревна вверх и вниз в смежных бревнах. Изнутри окна задвигались деревянной затворкой (заволакивались), откуда и появилось название – волоковые. В более крупных проемах перерубленные бревна связывали между собой колодами из брусьев. Со временем такие окна стали закрывать слюдой и только в XVIII-XIX веках для этой цели стали применять стекло. Дверные проемы загораживали полотнами из грубых досок, получаемых при раскалывании бревна. Полы в таких домах преимущественно были глиняными. Но, если под полом устраивали хранилище для зерна, то его перекрывали бревнами, щели между которыми замазывали глиной (рис. 5.3).

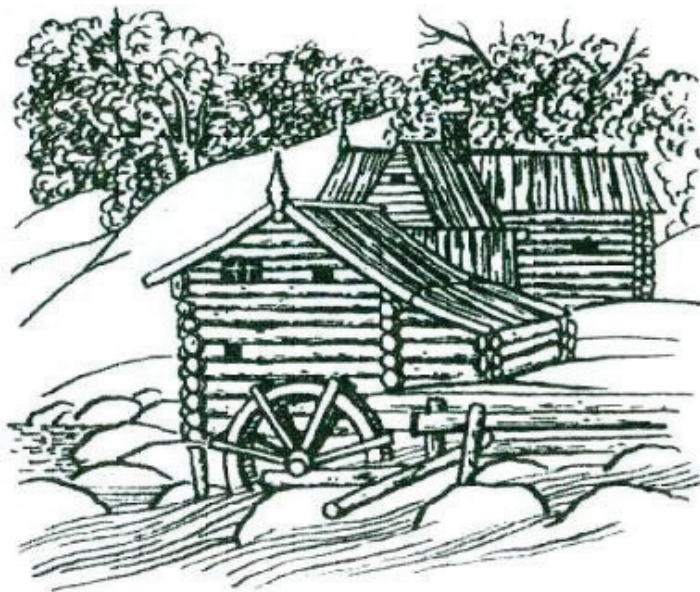


Рис. 5.3. Мельница с подливным колесом, XVIII в. [33]

На Руси известно множество типов срубов. К простейшим типам построек можно отнести четырехстенки. Для пристройки двора или хозяйственных помещений делали выпуски бревен, к которым прирубались сараи, амбары и т.д. Обычно русские плотники сращивание бревен по длине не применяли, а для увеличения размеров дома ставили рядом несколько срубов или применяли многоугольные (шести- или восьмиугольные) или крестообразные в плане здания. Наиболее распространенными были пятистенки

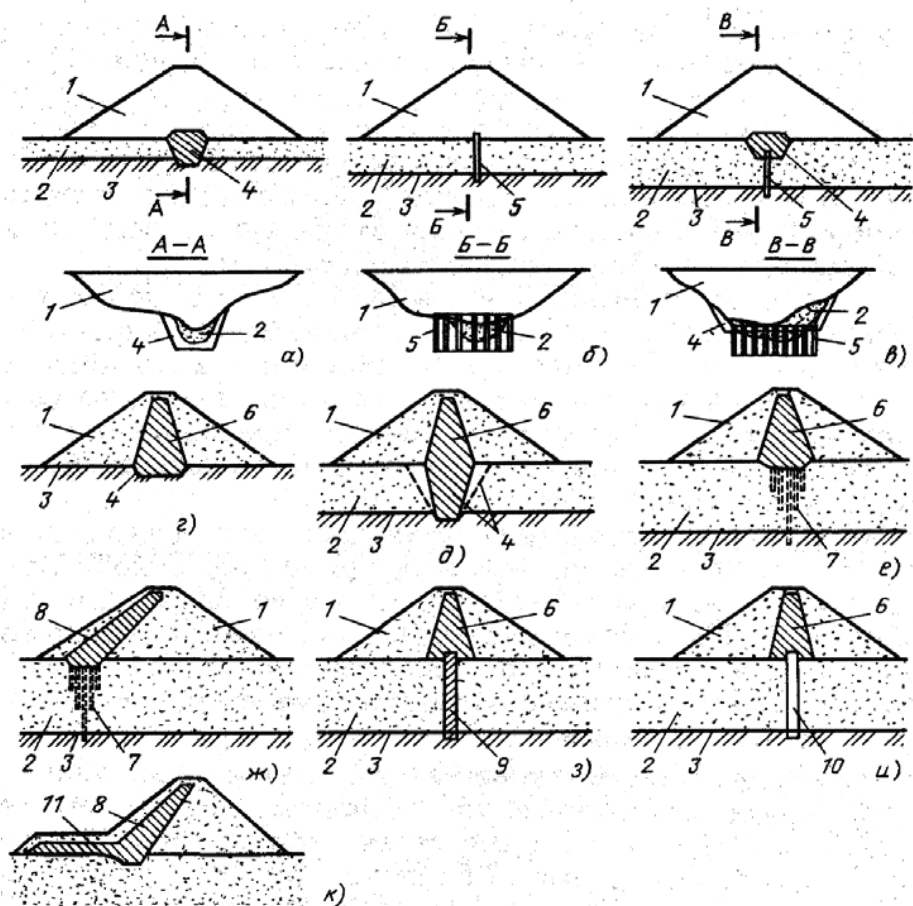


Рис. 4.5. Противофильтрационные устройства в нескальном основании [3]: а – зуб; б – шпунт; в – зуб и шпунт; г – ядро с неглубоким зубом; д – ядро и глубокий зуб; е и ж – инъекционная завеса в сочетании с ядром и экраном; з – траншейная стенка; и – буробетонная стенка; к – экран с понуром; 1 – тело плотины; 2 – проницаемое основание; 3 – водоупор; 4 – зуб; 5 – шпунт; 6 – ядро; 7 – инъекционная завеса; 8 – экран; 9 – траншейная стенка; 10 – буробетонная стенка; 11 – понур

Для эффективного развития фермерских хозяйств с малыми водохранилищами с полезным объемом от 0,5 до 5 млн. м³ и открытым водосбросом, где основным подпорным сооружением являлась земляная плотина, несколько позже был введен в действие ТП-Г/1-34 (1994 г.). Откосы плотины должны быть устойчивы и защищены от размывов под действием волн, ветра, ледяного покрова, атмосферных осадков и пр. специальными креплениями. Иногда их выполняют с уположенным верховым откосом (с коэффициентом заложения более 4...10), не требующим специального крепления.

Для тела плотины можно использовать практически все виды грунтов, за исключением грунтов, содержащих водорастворимые включения хлоридных солей более 5 % по массе, а сульфатных или сульфатно-хлоридных – более 10 %; не полностью разложившиеся органические вещества (остатки растений и т.п.) – не более 5% по массе или полностью разложившиеся органические вещества (в аморфном состоянии) – не более 8 %. При надлежащем

материалами. Мельничное сооружение невозможно рассматривать отдельно, как здание, независимое от типа мельничных механизмов. Это единый организм, в котором все взаимосвязано.

Сами малоэтажные здания мельниц (деревянные, каменные, железобетонные и пр.) во многом подобны друг другу – отличия связаны в основном с материалами, стенами и некоторыми объёмно-планировочными решениями. Применяемыми конструктивными системами, как и для любых малоэтажных зданий, являются бескаркасная (стенная), каркасная и смешанная системы. В бескаркасных зданиях их прочность, жёсткость и устойчивость обеспечиваются стенами, соединёнными с перекрытиями. В стенах бескаркасных зданий используют деревянные брусья (в том числе клеёные) и брёвна; кирпичи, бетонные, керамические, силикатные блоки; реже монолитный железобетон в оставляемой опалубке, и очень редко железобетонные панели. Каркасная конструкция обладает малым весом, что позволяет применять в качестве ограждающих конструкций различные лёгкие и менее прочные материалы, обеспечивающие требования по теплозащите, звукоизоляции, огнестойкости. Наружные стены в каркасных зданиях не являются несущими, поэтому их прочностные характеристики менее важны, чем в зданиях бескаркасного типа. Для элементов каркаса обычно используют дерево, металл, железобетон. В мельничном здании следует применять деревянные каркасы (где несущим элементом является каркас из цельной или клеёной древесины), а не железобетонные или металлические, например, металлические каркасные системы из термоэлементов (стальных профилей с перфорированными стенками, прерывающими «мостики холода»), чаще применяемые в малоэтажном жилом строительстве.

Внешний вид водяной мельницы как раньше, так и теперь зависит в целом от технологического процесса, начиная от подачи воды на колесо, а также от размещения внутреннего мельничного оборудования. Главными условиями постройки должны были быть прочность и удобство. В основном на Руси – это амбары различных размеров, покрытые обычно тесом на два ската. Обычно в здании мельницы устраивали двое ворот, соответственно для въезда и выезда подвод с зерном и мукой, а также достаточное число окон. Чердачный этаж мельницы выполнялся в виде мансарды и делался довольно обширным.

5.2. Деревянные здания: срубы, каркасные строения, стены, перекрытия, кровли

На протяжении веков дерево было основным строительным материалом как на Руси, так и во всем мире. И это было обусловлено его доступностью и дешевизной. Среди других достоинств древесины надо отметить: лёгкость

илистые, глинистые и мелкие пески (содержат менее 3 % глинистых частиц) для постройки плотин практически не применяют. Поскольку пески обладают значительным коэффициентом фильтрации и легко пропускают воду, то построенная из них плотина требует устройства противофильтрационной защиты. В основании ГТС могут быть скальные, полускальные и нескальные грунты.

Плотины из грунтовых материалов делят в соответствии с СП 58.13330.2012 [8] в зависимости от высоты плотины $H_{пл}$ и типа основания на четыре класса опасности (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Классы ГТС в зависимости от их высоты и типа грунтов оснований [5]

Гидротехническое сооружение	Тип грунта основания	Высота ГТС, м			
		I класс	II класс	III класс	IV класс
Плотины из грунтовых материалов	А	более 80	от 50 до 80	от 20 до 50	менее 20
	Б	более 65	от 35 до 65	от 15 до 35	менее 15
	В	более 50	от 25 до 50	от 15 до 25	менее 15

Примечания: 1. Грунты подразделяются на: А – скальные; Б – песчаные, крупнообломочные и глинистые в твердом и полутвердом состоянии; В – глинистые водонасыщенные в пластичном состоянии. 2. Высота ГТС и оценка его основания определяются по данным проектной документации.

Высота плотины устанавливается по формуле

$$H_{пл} = \nabla Гр - \nabla_{дна}, \quad (4.1)$$

где $\nabla Гр$ - отметка гребня плотины; $\nabla_{дна}$ – наинизшая отметка дна реки в выбранном створе плотины.

Грунтовые плотины представляют собой насыпи в виде трапеции (рис. 4.7). При конструировании грунтовой плотины следует стремиться принимать наиболее простые конструкции её отдельных частей, позволяющие максимально механизировать все этапы строительства, минимально использовать ручной труд и не вызывающие нарушения нормальной работы сооружения. При возведении плотин сравнительно небольшой высоты $H_{пл}$ (до 10...15 м), как это имеет место для мельничных равнинных гидроузлов, рекомендуется отдавать предпочтение однородным насыпным плотинам [46, 51]. Они наиболее просты с точки зрения производства работ и могут выполняться как из малопроницаемых (супеси, суглинка, глины), так и из достаточно водопроницаемых грунтов (мелко-, средне- и даже крупнозернистых песков) при обеспечении их фильтрационной прочности и

водную картину и часто является центральной точкой реанимируемого ландшафта.

Мельницы на Руси либо принадлежали отдельным собственникам (крестьянам, помещикам, дворянам, заводчикам и т.п.), либо находились в общем пользовании. Их здания имели довольно большие размеры: длина не менее 10...30 м и ширина более 8...20 м. Традиционным материалом в России для строительства помольных мельниц была древесина, из которой строили не только амбар, но и колёса, валы и прочую снасть (рис. 5.1). Из металла выполняли лишь оси, скобы и крепёжные детали. Однако встречались водяные и ветряные мельницы-шатровки, которые были построены из валунов или кирпича. Размеры срубов частных мукомольных мельниц были небольшими, в 1...2 квадратных сажени (4,6...9 м²) и с жерновами диаметром 3/4...1 аршин (0,53...0,71 м). Водяные мельницы ставили: на реке, при озере или пруде; на ручье или источнике (роднике, ключе); при колодце [11]. Материалом для их постройки служили: дерево, камень, грунт и прочие природные материалы. Иногда первый этаж амбара делали из камня, но чаще рубили его полностью из брёвен.

Здание мельницы состояло из двух частей: надводной и подводной. Часть мельничного здания могла располагаться на сваях над водой, а позже под здание стали подводить фундамент из тёсаных и тщательно подогнанных камней. В половине амбара на высоте плеча настилали массивный потолок, на котором помещали поставы – жернова: нижний, неподвижный камень – лежак и верхний, вращающийся камень – бегун. Они огораживались кожухом. В середине жернова устраивали отверстие – глазок. К жерновым камням предъявлялись повышенные требования по прочности, вязкости и пористости [12]. Иногда, чтобы зимой в сильные морозы мельницы не останавливались, над колесом делали укрытие-«тепляк» в виде соломенного шатра, что помогало мало.

- толщина крепления верхового откоса, защищающая его от волнового воздействия и других нагрузок, определяемая в зависимости от типа крепления и параметров волны;

- отметка нижней границы основного крепления верхового откоса (где обычно располагается упор), которая, руководствуясь сведениями из технической литературы, назначается ниже УМО по эмпирическим зависимостям и определяется допускаемой скоростью на размыв грунта неукрепленного откоса от волнового воздействия;

- тип материала (естественный или искусственный) и толщина фильтровой подготовки под крепление верхового откоса обычно подбираются, исходя из недопущения выноса частиц грунта фильтрационным потоком при опорожнении водоёма;

- фракционный состав и толщина обратных фильтров дренажей из естественных материалов, обычно назначаемые из условия недопущения фильтрационных деформаций в месте выхода фильтрационного потока при контакте разнородных грунтов по различным методикам.

Заложение верхового и низового откосов плотины (отношение высоты откоса к длине основания) определяется в зависимости от характера грунта и высоты плотины по табличным данным из справочной литературы (табл. 4.2), базирующейся на обобщённом опыте плотиностроения [13, 116].

Таблица 4.2

Коэффициенты заложения откосов (m_h, m_t) плотин из грунтовых материалов

Откос	Коэффициенты заложения откоса при высоте плотины, $H_{пл}$ м			
	до 5	от 5 до 10	от 10 до 15	от 15 до 50
Верховой, (m_h)	2...2,5	2,25...2,75	2,5...3	3...5
Низовой, (m_t)	1,5...1,75	1,75...2,25	2...2,5	2,5...4

Примечание: назначенные значения коэффициентов заложения откосов m_h, m_t в дальнейшем уточняются расчётом на устойчивость откосов плотины;

Конструкция и параметры **гребня грунтовых плотин и дамб** зависят от условий производства работ при их возведении и условий их эксплуатации [51]. Основное назначение гребня – обеспечение проезда эксплуатационной техники. При этом ширина гребня устанавливается в зависимости от категории дороги (их пять), прокладываемой по гребню подпорного сооружения. Минимальные размеры гребня плотины в соответствии с требованиями СП 39.13330.2012 составляют: ширина проезжей части – от 4,5 м (V категория дороги) до 7,5 м (II категория дороги). Ширина гребня плотины соответственно от 8 до 15 м. При отсутствии необходимости проезда минимальная ширина гребня грунтовой

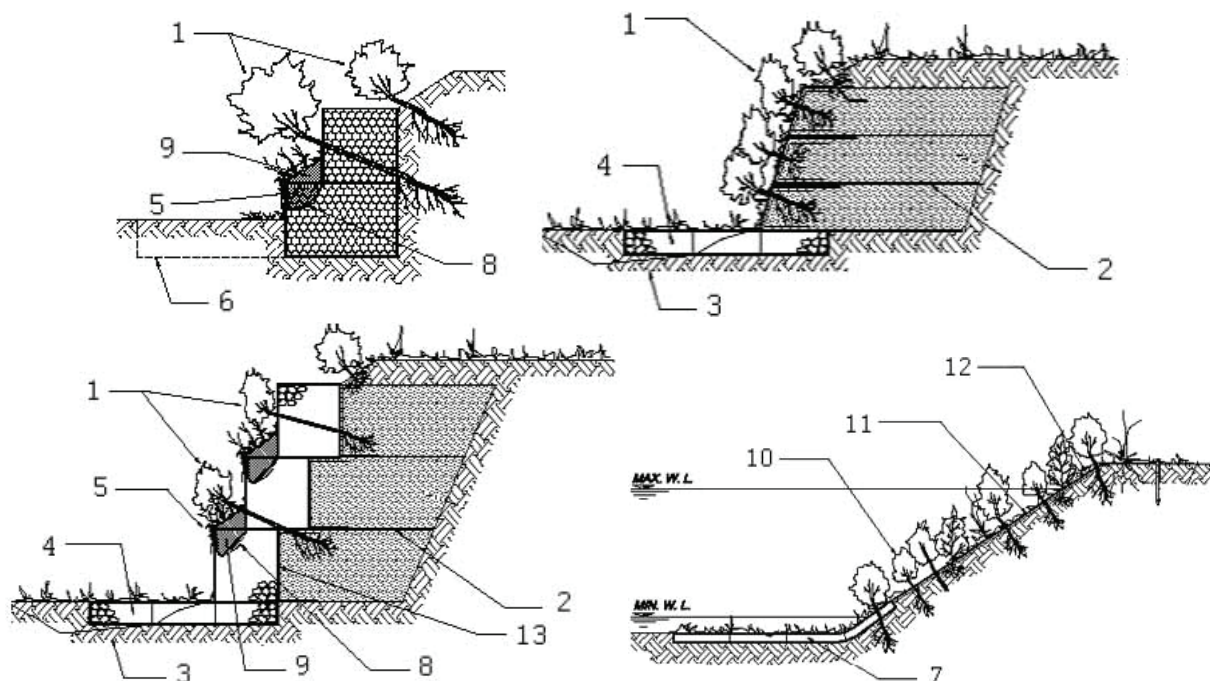


Рис. 4.93. Варианты крепления откосов берегов с применением биоинженерных технологий с использованием сетки двойного кручения:

1 – черенки кустарников или деревьев; 2 – система Зелёный Террамеш; 3 – возможный размыв; 4 – фартук из матрасов Рено; 5 – карман с почвой; 6 – фартук из габионов; 7 – щебень или фартук из матрасов Рено с мелким заполнителем; 8 – кокосовое волокно; 9 – растительный грунт; 10 – хлысты вербы или ивы; 11 – геотекстиль «Биомакс»; 12 – мульчирование почвы; 13 – коробчатые габионы

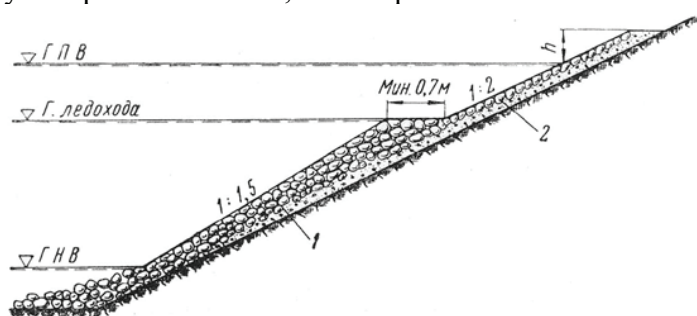


Рис. 4.94. Комбинированное каменное крепление: 1 – каменная наброска; 2 – одиночная булыжная мостовая

Таким образом, устройство мельниц на водоёме положительно сказывается на обогащении пруда кислородом и его зарыблении. Ещё в XIII в., когда водяные мельницы строили в основном для переработки сельскохозяйственной продукции, пруды, образованные водоподъёмными плотинами, использовались для разведения рыбы, а малые реки имели рыбохозяйственное назначение. На многих из них в прошлом были нерестилища не только туводных, но и проходных рыб. Продуктивность небольших рек и водоёмов, отнесённая к одному гектару водной поверхности водохранилища, для условий Москвы и Московской области составляет 60...70 кг рыбы [7]. Доказано, как уже отмечалось, что сравнительно медленно вращающиеся лопасти водяного мельничного колеса обеспечивают

$$\nabla \Gamma p = \nabla PУ + h_s. \quad (4.2)$$

Превышение отметки гребня плотины h_s над отметкой расчетного статического уровня воды в водохранилище определяется по формуле (4.3).

$$h_s = \Delta h_{set} + h_{run\ 1\%} + a, \quad (4.3)$$

где: Δh_{set} – высота ветрового нагона воды, м; $h_{run\ 1\%}$ – высота наката ветровых волн обеспеченностью 1%, м; a – конструктивный запас гребня, м.

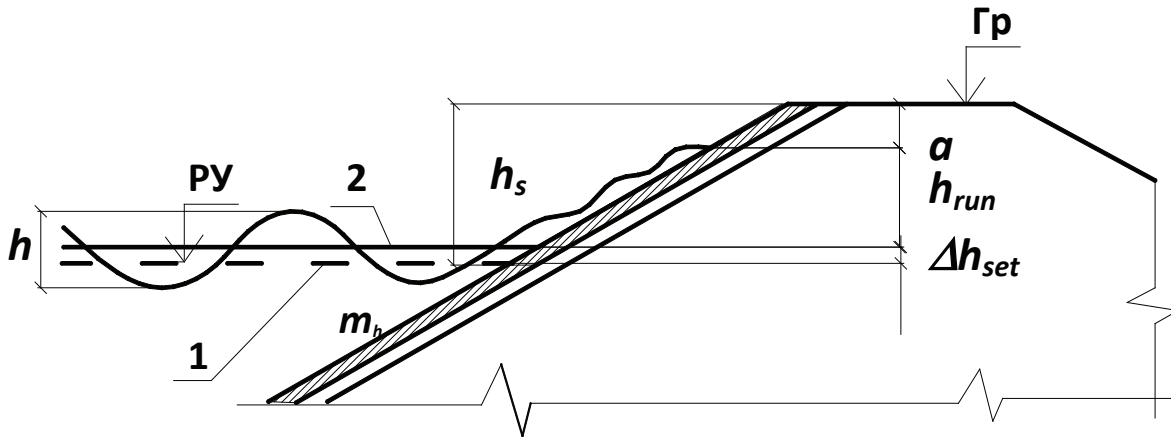


Рис. 4.9. Расчетная схема к определению отметки гребня плотины: 1 – расчетный статический уровень, 2 – уровень воды при ветровом нагоне

Параметры ветровых волн, а также величины Δh_{set} и $h_{run\ 1\%}$ определяются в соответствии со СП 38.13330.2012 [7]. Основные расчётные зависимости и графики для определения отметки гребня плотины и её высоты приведены в специальной литературе [2, 3, 4, 11, 13, 20, 21, 24, 76]. При вычислении параметров волн и Δh_{set} за расчётную принимают скорость ветра на высоте 10 м от поверхности воды V_W с обеспеченностью при НПУ 2% (1 раз в 50 лет) для плотин I и II класса и 4% (1 раз в 25 лет) для III и IV класса, а при ФПУ – 50%. Конструктивный запас гребня плотины над верхней точкой наката волны на откос a принимается как большее из значений: 0,5 м (если разрушение плотины может вызвать значительный ущерб) и $0,1h_{1\%}$, где $h_{1\%}$ – высота волны 1%-ой вероятности превышения. При высоте волн менее 5 м конструктивный запас $a = 0,5$ м.

Предварительно назначить отметку гребня будущей плотины $\nabla \Gamma p$ можно с учётом предполагаемого запаса над отметкой форсированного уровня $\nabla \Phi ПУ$ по формуле (4.2), определив первоначальную высоту плотины по зависимости (4.1) и по таблице 4.2, приняв соответствующие значения коэффициентов заложения откосов. Также предварительно значение h_s может быть установлено по приближенной формуле

$$h_s = 1 + 0,3\sqrt{L}, \quad (4.4)$$

где L – длина разгона ветровой волны, в км.

пространства. Могут заполняться почвой с семенами или заставляться ящиками с растениями непосредственно после укладки. Уже через короткое время решетчатые элементы зарастают посаженными растениями. Визуально маты представляют собой сплошную ровную зеленую поверхность, по которой могут перемещаться газонокосилки и другие механизмы.

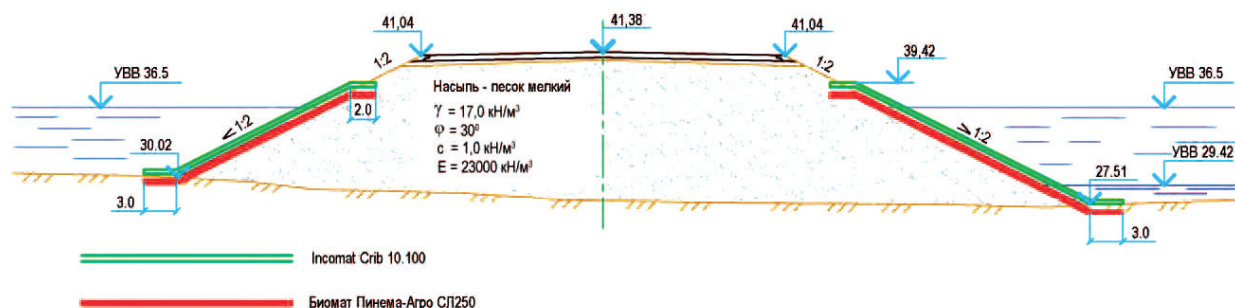


Рис. 4.91. Поперечное сечение дамбы с геосинтетическим креплением Incomat Crib в черте г. Самары, Гипростроймост, 2009 г.

При разработке проектных решений, как правило, прорабатываются различные варианты берегоукрепления. При выборе конструкций крепления различных элементов мельничных водоемов следует учитывать следующее:

1. Для недопущения эвтрофирования водоёма при формировании береговых откосов и при необходимости его крепления целесообразнее выполнять последнее из местных материалов: камня, дерева, хвороста и т.п. При этом необходимо обеспечить водопроницаемость крепления и водообмен между акваторией и сушей.

2. Применение крепления из искусственных материалов на базе природных компонентов, особенно из бетона и железобетона, может вызвать обильное цветение сине-зеленых водорослей, ухудшить кислородный режим и водообмен с береговыми грунтовыми водами. Поэтому лучше от таких конструкций даже на отдельных участках берега отказаться, либо изолировать бетон от воды (например, битумом и т.п.).

3. Применение габионных креплений в виде стенок и матов в стальной сетке из оцинкованной проволоки, особенно в водоёмах рыбоводного назначения также может спровоцировать интенсификацию процесса «цветения» водоёма и замора его обитателей. Последнее происходит из-за растворения цинка в донных осадках, выхода его в толщу воды при прогреве водоёма и отравлении населяющих воду биоорганизмов, лишая рыбу кормовой базы (несмотря на защитное гальфановое покрытие и использование гранитного камня).

4. Необходимо предусматривать под креплением устройство дренажа или обратного фильтра для исключения возможности попадания поверхностного ливневого стока в водоем и взмучивания воды.

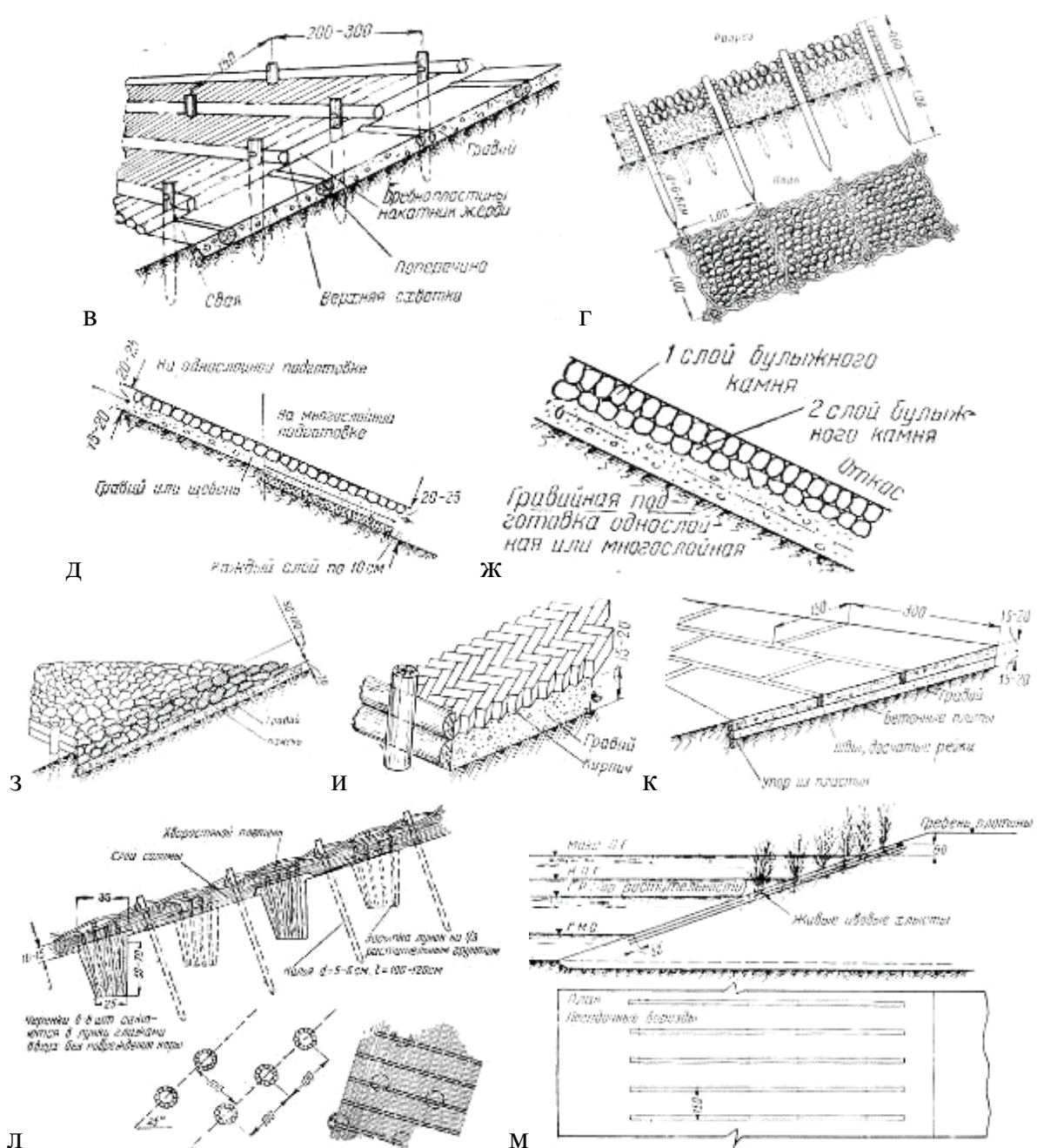


Рис. 4.10. Некоторые традиционные типы крепления верхового откоса мельничных плотин: а – хворостяное; б – усиленное фашинно-хворостяное; в – деревянное; г – каменная загрузка в плетневых клетках; д, ж – по типу одиночной и двойной булыжной мостовой; з – из каменной наброски; и – кирпичное; к – бетонными либо железобетонными плитами; л – посадкой ивовых черенков; м – ивовыми хлыстами

Целесообразно по верховому откосу до уровня воды производить посадку черенков тальника и кустарника, которые не только хорошо скрепляют грунт корнями, заменяя искусственное крепление, но и ослабляют действие ветра, т. е. способствуют уменьшению высоты волны. Этому способствует также посадка камыша, тростника, которые могут произрастать на глубине до 2 м под водой. Площадь посадочных мест может составлять 1х1 м или 1,5х1,5 м. В период приживания посадок биологического крепления откос можно защитить

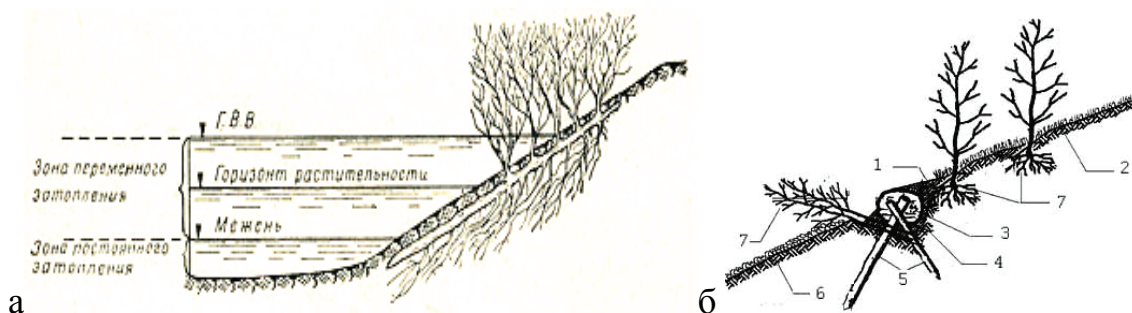


Рис. 4.89. Варианты биоинженерных конструкций крепления откосов водоема: а – общая схема крепления кустарником; б – крепление саженцами ивы; 1– грунт засыпки; 2 – травяной газон; 3 – биотекстиль; 4 – каменно-хворостяная фашина; 5 – колья длиной 1...1,5 м; 6 – каменная наброска; 7 – черенки ивы

Для укрепления **подводных частей** берега («мокрые откосы») применяют:

- крепление из **местных материалов** (деревянные свайные или шпунтовые стенки, ложно-свайные стенки и заборы из досок, фашинные и фашинно-каменные, плетневые и плетневые с гравийным или песчано-гравийным фильтром, каменное мощение по плотной естественной поверхности, песчаной или щебеночной подготовке, бутовая кладка на цементном растворе или сухая, ряжевые конструкции из дерева с заполнением булыжником, каменным сколом, гравием, щебнем и т.д., габионные конструкции с каменным заполнителем в металлических сетках – коробчатые и цилиндрические габионы, матрасы Рено, Джамбо, Геомак, армирующие системы Террамеш, Макволл и другие, «скрытые» габионные конструкции);

- крепление из **искусственных материалов** на базе природных компонентов (монолитный бетон и железобетон с поверхностной обработкой, без неё или с облицовкой камнем, ячеистые бетонные плиты без и с заполнением ячеек щебнем или гравием, сборные бетонные и железобетонные плиты, тротуарные плитки, каменная либо плиточная кладка в деревянных клетках, каменно-плиточная кладка, гибкие тюфяки с геотекстилем в качестве фильтра и т.п.);

- сваи: металлические, бетонные либо пластмассовые и пр. Этот способ часто применяется для очень крутого берега;

- шпунт из ПВХ и композиционного материала;

- крепление из **современных синтетических материалов** (геоткань в комбинации с вышеупомянутыми типами крепления, геоткань с георешётками и геосетками с заполнителем, геокаркас с заполнителем и т.д.).

Из новых высокотехнологичных и экономичных типов крепления земляных откосов выделяется серийная конструкция Incomat (рис. 4.90 и 4.91). Суть технологии укрепления откосов мешками из геосинтетического материала заключается в том, что на строительную площадку поставляется в рулонах

допустимыми пределами изменения гранулометрического состава укладываемого в крепление материала. Для этого определяется средний размер камня D_{cp} , необходимого для укладки в крепление: определяют массу отдельных камней Q из условия устойчивости против размывающего действия волн в зоне их обрушения, а затем диаметр камня, приведённый к диаметру шара. Полученное значение сравнивается со средним размером имеющегося крупнообломочного грунта [13].

Толщину наброски t_{min} из несортированного камня назначают по формуле

$$t_{min} = 3 \cdot d_{85}, \quad (4.5)$$

где d_{85} – диаметр камня, определяемый по кривой гранулометрического состава при $P = 85\%$.

При отсутствии в карьерах каменного материала с необходимым зерновым составом крепление верхового откоса для обычных грунтовых плотин и сегодня ещё выполняют из **железобетонных** (реже бетонных) **сборных** или **монолитных плит**. Крепление из железобетонных (бетонных) плит можно осуществлять при любых параметрах волн, возникающих на внутренних водоемах. Минимальная толщина применяемых для крепления откосов плит составляет: для креплений из сборных плит – 0,08...0,1 м; для креплений из монолитных плит – 0,15 м. Монолитные плиты (рис. 4.12) устраивают, заливая раствор в опалубку, располагаемую на месте строительства. Расстояние B между деформационными швами (размер плиты), в направлении, перпендикулярном урезу воды (между продольными деформационными швами) для монолитного варианта крепления назначается в зависимости от длины закрепляемого откоса в пределах 5...20 м, а иногда и более (секции размером до 45...60 м [13, 24]). Швы между плитами могут быть открытыми или закрытыми с уплотнениями в виде резиновых диафрагм, просмоленных деревянных или железобетонных досок. В пределах каждой секции предусматриваются температурные закрытые швы, разделяющие секцию на плиты размером $b = 0,4\lambda$. При этом размеры плит могут быть неодинаковыми. Поперечные деформационные швы выполняются также с расстоянием между ними 5...20 м.

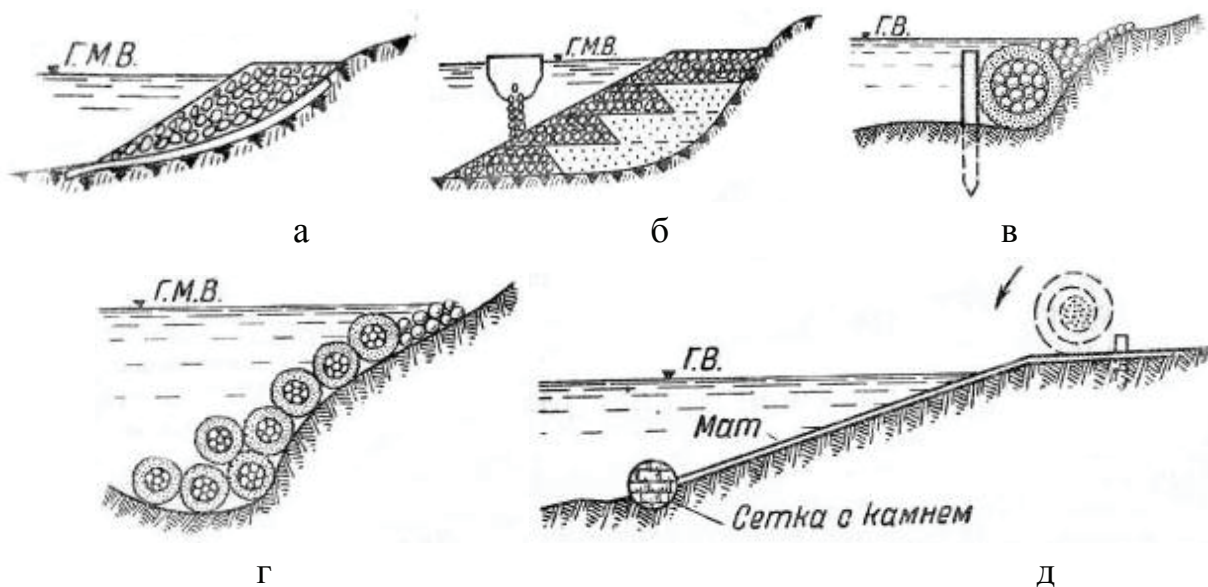


Рис. 4.86. Типы одежд берегов водоёмов: а – каменная наброска на тьюфяке; б – отсыпка камня с заполнением внутренней части призмы гравием и песком; в – одиночные тяжёлые фашины; г – откатка из фашин; д – сетчатый мат с цилиндрической сеткой

Выбор материала и технологии для укрепления откосов водоёма, зависит от его крутизны, местоположения откоса относительно уровня воды, предполагаемых нагрузок, экологической и ландшафтной организации реабилитируемого объекта. На выбор конструкции крепления, кроме назначения водоёма влияют экологические требования, геоморфологические особенности пруда и необходимость обеспечения устойчивости склонов и берегов водоёма. Особенно важен правильный выбор конструкции берегоукрепления для реабилитации мельничных прудов. Для них можно рекомендовать использование экологически чистых природных или имитирующих их материалов: **лиственничные** («ряжевые») крепления; **габионные** (вертикальные или откосные) конструкции; **армогрунтовые** конструкции; **геокомпозиционные системы** на основе геосинтетических противозерозионных матов (геоматов) и георешёток; **комбинированные** конструкции: – подводная часть – свайно-набивная стенка из брёвен, надводная – «скрытые» габионы либо облицовка основных ж/б конструкций натуральными материалами: камень, кирпич, бутовая кладка, дерево и т.п. (рис. 4.87 – 4. 89).

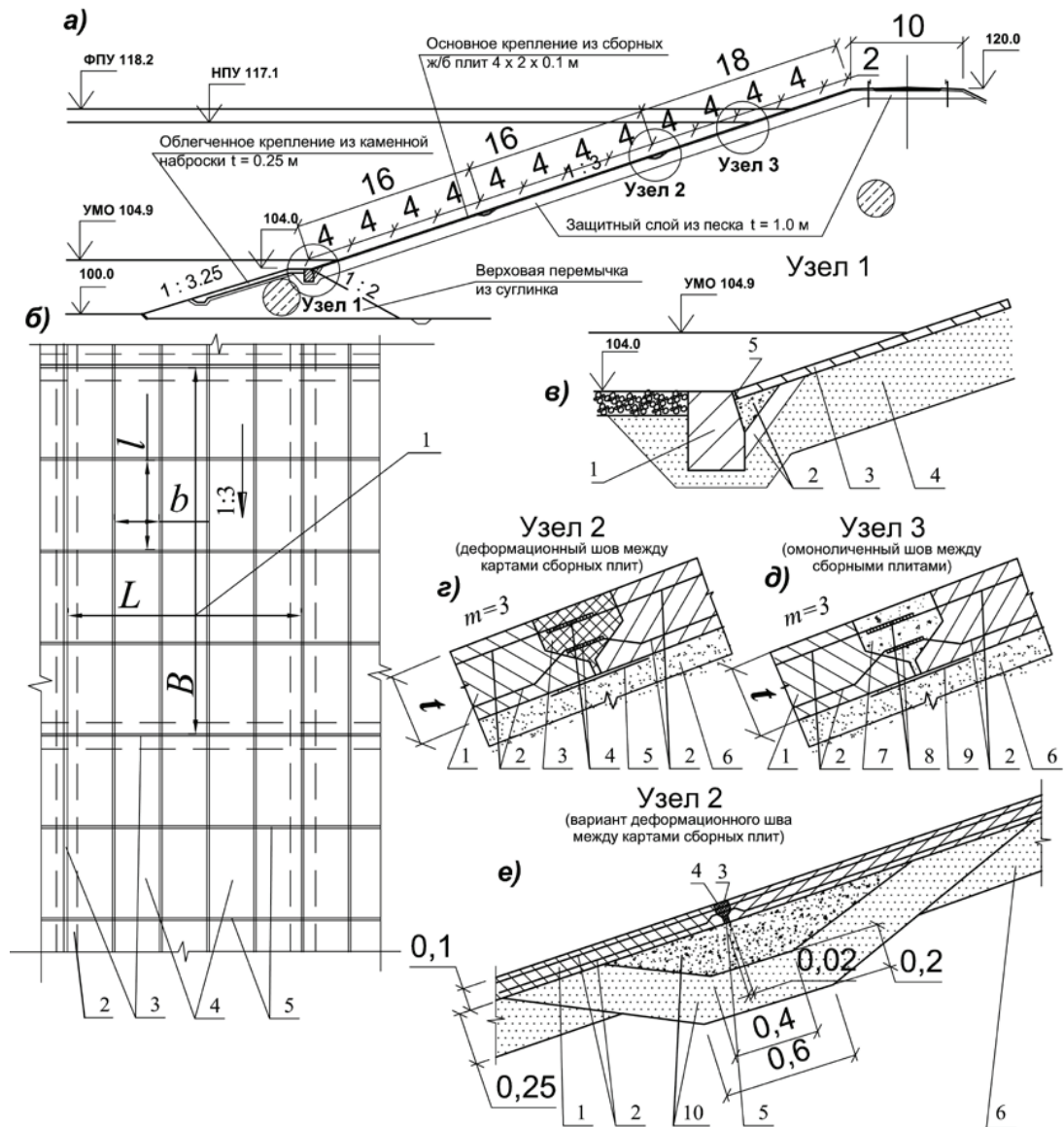


Рис. 4.13. Пример крепления верхового откоса из сборных железобетонных плит [13]: а – разрез по верховому откосу; б – раскладка плит на верховом откосу, 1 – карта из сборных плит; 2 – ленточные фильтры под деформационными швами 3 между картами 1; 4 – сборные плиты, омоноличиваемые между собой в швах 5 внутри карты 1; в – упор из сборного или монолитного бетона, 1 – бетонный блок; 2 – слои обратного фильтра; 3 – плита крепления; 4 – выравнивающая подготовка или защитный слой из песчано-гравийных грунтов; 5 – доска, пропитанная битумом; г – вариант деформационного шва между картами из сборных плит, 1 – сборные плиты; 2 – рабочая арматура; 3 – битумная мастика; 4 – крутка выпусков арматуры вязальной проволокой; 5 – фильтр из геотекстиля; 6 – выравнивающая подготовка или защитный слой из песчано-гравийных грунтов; д – вариант омоноличенного шва между картами из сборных плит, 7 – бетон омоноличивания; 8 – сварка выпусков арматуры; 9 – лист рубероида; остальные обозначения те же, что и на рисунке г; е – вариант деформационного шва между картами из сборных плит, 1 – сборные плиты; 2 – рабочая арматура; 3 – битумная мастика; 8 – скрутка выпусков арматуры вязальной проволокой; 5 – доска, пропитанная битумом; 6 – выравнивающая подготовка или защитный слой из песчано-гравийных грунтов; 10 – слои обратного фильтра

Для поддержания процессов самоочищения водного объекта, сохранения постоянными по своему составу и численности организмов сложившихся биоценозов есть рекомендации [39]: вместо плотин строить на малых реках полузапруды; сохранять пойменные луга, ограждая их противопаводковыми дамбами; использовать безнапорные гидроэлектростанции, водяные мельницы и водяные колёса, не требующие создания искусственного подпора (рис. 4.85).

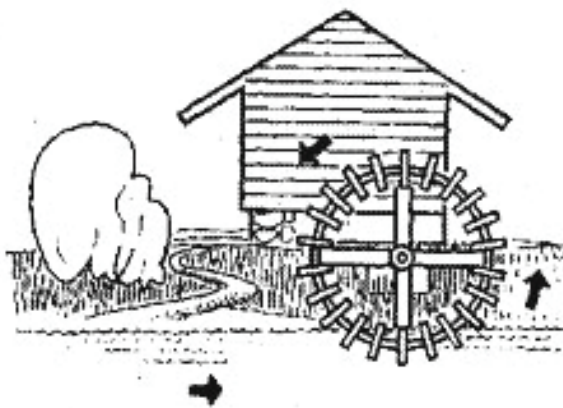


Рис. 4.85. Схема действия водяного колеса для поддержания процессов самоочищения в малой реке [39]

Исследования, выполненные НИИЭС, показали, что при энергетическом использовании малых рек улучшается их экологическое состояние. При этом наиболее эффективным способом энергетического освоения водных объектов (рек и водоёмов) и сохранения водности малых рек считается именно сооружение водохранилищ, прудов и русловых плотин с водосбросами. При этом достаточно, чтобы высота плотин была не более 3 м, а их количество в речном каскаде было от 2 до 8 вдоль по длине водотока [44]. Создание мельничных прудов повышает уровень развития высшей водной растительности и в большинстве случаев улучшает кислородный режим как в водохранилище (за счёт фотосинтеза), так и в нижнем бьефе за счёт аэрации потока. Таким образом, небольшие водохранилища (объёмом до 1...10 млн. м³) и мельничные пруды выполняют роль биологических очистных сооружений. Накапливая значительное число биогенных элементов, они повышают кормовую базу, обладают высокой рыбопродуктивностью и создают благоприятные условия для жизнедеятельности водоплавающих птиц.

При экорееабилитации водных объектов и восстановлении исторических усадебных гидроузлов ещё на стадии проектирования важно оценить экологические аспекты использования водяных колёс и мельниц. Некоторые приусадебные водоёмы после их восстановления используются для любительской либо платной рыбной ловли («Ясенево», «Михалково»). Поэтому важно учитывать положительную роль гидродвигателей, в частности, водяных мельниц, в аэрировании водных объектов, повышении или поддержании их

Грунтоцементное крепление выполняют из смеси несвязных грунтов с добавкой цемента (до 14 %) и воды (рис. 4.15). Грунтоцементную смесь укладывают слоями толщиной до 15 см и уплотняют катками. Толщина крепления перпендикулярно к откосу составляет не менее 1 м. Применение конструкций такого типа требует проведения мероприятий по борьбе с противодавлением; к числу их недостатков относится растрескивание при промерзании. Чтобы избежать снижения прочности грунтоцементной смеси, транспортировку ее от смесительной установки, разравнивание и уплотнение следует производить в короткое время.

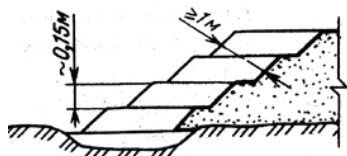


Рис. 4.15. Крепление верхового откоса с применением грунтоцемента [4]

Верхнюю границу основного крепления верхового откоса плотины обычно доводят до её гребня. Часто встречаются плотины, в которых последние 0...0,5 м высоты откоса у гребня плотины снабжены облегченным креплением из гравия, щебня или в этой зоне выполнен посев многолетних трав по слою растительного грунта.

Отметку нижней границы основного крепления $\nabla_{крп}$ следует назначать на отметке ниже отметки уровня мертвого объема УМО. При этом ее выбирают наименьшей, исходя из двух условий

$$\nabla_{крп} = \nabla \text{УМО} - 2 h_{1\% \text{ при УМО}}; \quad (4.6)$$

$$\nabla_{крп} = \nabla \text{УМО} - 1,5 t_{льда}, \quad (4.7)$$

где $h_{1\% \text{ при УМО}} = H_{кр}$ определяется при параметрах водоёма, соответствующих УМО, м; $t_{льда}$ – толщина льда в водоеме, м.

Нижняя граница облегченного крепления принимается на отметке, где донные волновые скорости не превышают размывающих скоростей для грунта откоса плотины. Ориентировочно нижнюю границу облегченного крепления можно принимать на отметке, заглубленной на значение $H_{кр}$ под нижнюю границу основного крепления. Нижняя граница крепления на мельничных плотинах может доводиться до подошвы верхового откоса, если высота остающейся незакрепленной части откоса не превышает 1...1,5 м. Вдоль нижней границы крепления делается усиленное крепление в виде упора из камня или бетонного элемента. Конструктивно они выполняются в виде массивного зуба из камня или бетонного бруса либо плиты, примерно в 1,5...3 раза толще основных элементов крепления.

Роль **крепления низового откоса** в пределах волновых воздействий нижнего бьефа обычно выполняют дренажная призма из крупнообломочных грунтов или наклонный дренаж. Остальная часть низового откоса (сухая)

этого же рьяа размещается и лоток для подачи воды на «мокрое» колесо водяной мельницы.

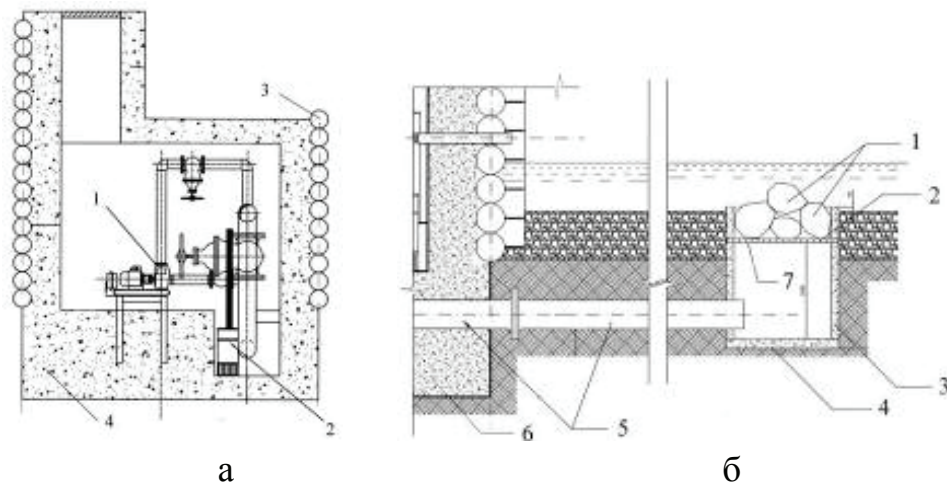


Рис. 4.84. **Насосная в мельничной плотине на р. Жужа:** а – расстановка оборудования; 1 – насос КМ 160/20; 2 – дренажный насос «Гном»; 3 – стены рьяа; 4 – железобетонный бункер; б – конструкция водозабора в НБ: 1 – камень булыжный; 2 – сталь листовая $t = 20$ мм; 3 – колодец КЦД-10; 4 – днище колодца КЦД-10; 5 – водозаборная труба диаметром 300 мм; 6 – насосная

4.4. Водоём и водоотводящее русло

При помощи плотин в течение столетий образовывались небольшие мельничные пруды или водохранилища ГЭС, которые зачастую потом создавали на многих малых реках сомкнутые каскады подпорных бьефов (см. гл. 1). В результате гидрологический режим водотока благоприятно преобразовывался и стабилизировался, ситуация на речной пойме коренным образом улучшалась. Водяные мельницы, стоявшие ранее на многих мелких речках, не только регулировали сток воды, но и создавали пруды, где водилась рыба. После их ликвидации речки стали мелеть, рыбы в них практически не стало, для полива окрестных полей и водоснабжения иногда приходилось строить новые плотины или запруды. Современные исследования подтверждают, что устройство водяной мельницы способствует улучшению рекреационных и экологических функций малых рек и водоёмов и сохранению их водных систем [5]. Известно, что на способность рек к самоочищению воздействует не только состав поступающих в них загрязняющих веществ, но и скорость течения, наполнение русла и степень турбулентности потока. В большей мере на самоочищение реки и трансформацию органических веществ оказывает влияние содержание в воде растворённого кислорода, количество которого для полного самоокисления должно быть в 7...9 раз больше количества углеводов. Обеспечение минимально необходимого для охраны природы и жизни в реке количества воды и её проточности позволяет сохранить в речной системе стабильное экологическое равновесие. Поскольку

плотины бульдозером снимается растительный и минеральный грунт слоем 0,2 м, при этом минеральный грунт грузится на автосамосвалы и вывозится в постоянный отвал, а растительный грунт складировается во временном отвале и потом используется для крепления откоса плотины.

Бермы устраиваются через 8...10 м, считая от гребня плотины, шириной 2...5 м. Берма на верховом откосе обычно устраивается для создания необходимого упора крепления на отметке нижней границы крепления и/или совмещается с отметкой гребня верховой строительной перемычки. Отметка такой бермы принимается равной отметке низа основного крепления. Ширина и местоположение бермы на низовом откосе принимается в зависимости от условий эксплуатации и необходимости водоотвода с откоса по сведениям из специальной литературы [2, 3, 4]. Часто на низких плотинах бермы не устраиваются.

Как правило, грунтовые плотины должны иметь **дренажные устройства**, понижающие положение кривой депрессии в теле плотины, обеспечивающие организованный отвод фильтрующей через тело и основание плотины воды, исключающие фильтрационные деформации грунта тела и основания плотины в месте выхода фильтрационного потока. Конструкция дренажа и месторасположение его в теле плотины зависят от типа плотины, наличия воды в нижнем бьефе, геологических условий и грунта тела плотины. Конструкция руслового и берегового дренажа часто бывает различной (рис. 4.17). На незатопляемых береговых участках дренажи могут выполняться облегченной конструкции или вообще отсутствовать. Дренажи береговых участков грунтовых плотин устраивают, начиная с сечения плотины, в котором напор при НПУ составляет 2 и более метров (трубчатый, плоский горизонтальный дренаж и др.).

При выборе типа и предварительном назначении параметров дренажей учитывают следующее [2]:

- при наличии достаточного количества каменного материала предпочтение для русловых и пойменных дренажей следует отдавать дренажной призме, так как этот тип дренажа обладает рядом достоинств, в числе которых следует отметить: хорошее дренирование тела плотины и основания во всем диапазоне колебаний отметок уровней нижнего бьефа; выполнение призмой функций крепления низового откоса в зоне волновых воздействий нижнего бьефа; простоту конструкции; дополнительное повышение устойчивости низового откоса за счет высоких сдвиговых характеристик грунтов, применяемых при ее возведении; возможность использования в отдельных случаях в качестве перемычки в период строительства плотины. В последнем случае банкет выполняют отсыпкой камня в воду при перекрытии русла

Для каналов в одежде n принимают в соответствии со СП по таблице 4.8.

Таблица 4.8

Коэффициенты шероховатости каналов с облицовкой

Облицовка	n
Бетонная:	
хорошо отделанная	0,012 ... 0,014
грубая	0,015 ... 0,017
Сборные железобетонные лотки	0,012 ... 0,015
Покрытие из асфальтобитумных материалов	0,013 ... 0,016
Мостовая булыжная	0,020 ... 0,025
Облицовка тёсаным камнем	0,013 ... 0,017
Одернованное русло	0,030 ... 0,035

При типичном расположении водосброса подводящий канал имеет небольшое протяжение, и потерями напора по его длине можно пренебречь, то есть можно принимать, что геометрический напор на пороге водослива равен разности отметок уровня воды в водохранилище и гребня водослива. Расчёт короткого подводящего канала чаще всего сводится к определению средних скоростей воды вдоль его трассы по формуле

$$V_k = Q/\omega_k, \quad (4.25)$$

где: Q – расчётный расход водосброса, м³/с; ω_k – площадь живого сечения канала, м².

Обычно задаются глубиной в канале h_k с учётом того, что напор на щитах регулятора при НПУ в водохранилище не более 3...3,5 м, и задача сводится к отысканию b_k при заданных h_k и m_k . Для трапецеидальных каналов постоянной ширины можно, наоборот, задаться шириной канала b_k или соотношением $\beta = b_k/h_k = 2,2...6$ и определить h_k , используя зависимости

$$\omega_k = (\beta h_k + m_k h_k) h_k = (\beta + m_k) h_k^2; \quad b_k = \sqrt{\frac{\beta^2 \omega_k}{(\beta + m_k)}}; \quad h_k = b_k/\beta. \quad (4.26)$$

Пример: Рассчитать мельничный прямоугольный лоток из дерева при расходе, подаваемом на мельничное колесо $Q = 30$ л/с, и ширине лотка 0,42 м для мельничного гидроузла в усадьбе Чернево, отметка порога водозабора 166,87 м (рис. 4.83).

$m_{\text{вн}} = 1,0 \dots 1,5$. Толщина и количество слоев обратного фильтра со стороны тела плотины и основания зависят от вида защищаемого грунта и характеристик материала призмы;

- наклонный дренаж применяется при отсутствии на месте строительства достаточного количества крупнообломочных грунтов, пригодных для устройства банкета. Он в чистом виде (рис. 4.17,б) не понижает кривую депрессии и применяется для защиты низового откоса в основном от волновых воздействий НБ в неоднородных земляных плотинах с ядром или экраном, а также для защиты грунта низовой призмы от фильтрационных деформаций в месте выхода фильтрационного потока. Наклонный дренаж целесообразно применять на участках плотины, перекрывающих затопливаемую пойму, а также для защиты низовых откосов уже построенных плотин при выходе на них фильтрационного потока. Он предотвращает оплывание грунта низового откоса. Толщину наклонного дренажа определяют так же, как и толщину крепления из каменной наброски, но с учетом ширины бермы поверху назначают, по условиям производства работ, не менее 1 м.

- при недостаточном количестве каменного материала для выполнения дренажной призмы полного профиля она может применяться в сочетании с наклонным дренажом (рис. 4.17, д). Отметку гребня банкета комбинированного дренажа назначают также из условий перекрытия русла реки. Отметку верха дренажной призмы обычно назначают с запасом 0,5...1 м над отметкой уровня воды в отводящем русле, соответствующей расчетному строительному расходу;

- при недостаточном заглублении кривой депрессии по отношению к поверхности низового откоса дренажная призма дополняется внутренним, например, плоским горизонтальным дренажом (рис. 4.17, ж) с размещением его оси выше отметки воды при пропуске постоянных полезных попусков в нижний бьеф;

- дренажи незатопляемых береговых участков плотины выполняются менее материалоемкими. Из дренажей закрытого типа наиболее простым в производстве работ и хорошо дренирующим тело и основание плотины является плоский горизонтальный дренаж. Предварительная длина такого дренажа назначается в пределах 0,4...0,6 длины горизонтальной проекции низового клина плотины. Толщина наиболее крупнозернистой выводной, средней по высоте части ленты плоского дренажа принимается 0,3...0,5 м. Общая толщина зависит от числа слоев обратного фильтра со стороны тела и основания плотины. Приемная часть дренажа выполняется чаще всего утолщенной. Фильтрационный поток, перехваченный дренажом, отводится в нижний бьеф по водоотводной канаве (лотку), предусмотренной вдоль подошвы низового откоса;

Чаще всего каналы водосбросного тракта укрепляются каменной наброской, облицовываются монолитными или сборными железобетонными плитами, асфальтобетоном, полимерными материалами (рис. 4.79 – 4.82).

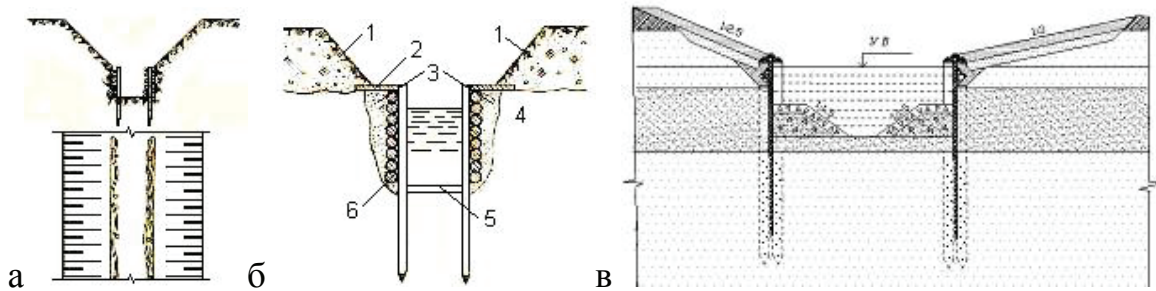


Рис. 4.80. Варианты крепления подводящих каналов и канав: хворостяным забором (а), жердями (б), сваями, обшитыми досками (в); 1 – водонепроницаемый устойчивый грунт; 2 – дёрн; 3 – песок; 4 – оплывающий грунт; 5 – распорка; 6 – жердевая заборка

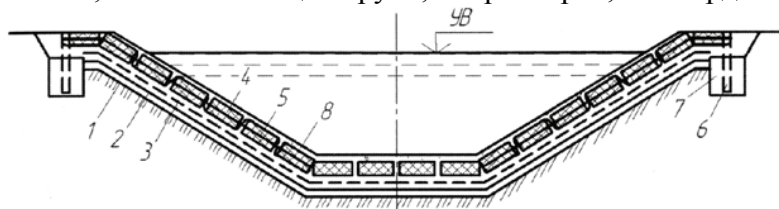
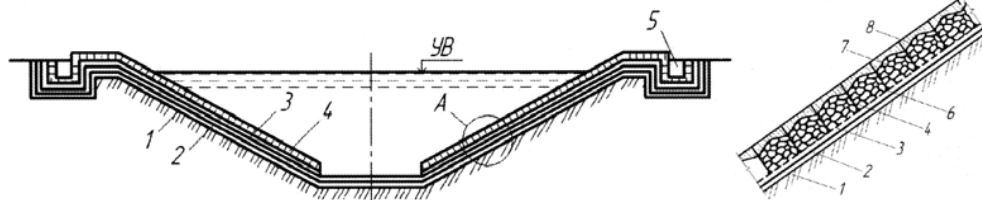


Рис. 4.81. Конструкция противофильтрационной облицовки канала с геомембраной и защитным покрытием из габионов [25]: 1 – грунт подстилающего основания; 2 – геомембрана; 3 – геотекстиль; 4 – габионы; 5 – канат; 6 – металлическая стойка; 7 – монолитный бетон; 8 – кольматирующий слой



Узел А

Рис. 4.82. Поперечное сечение канала с противофильтрационной облицовкой с геомембраной и защитным покрытием из георешётки: 1 – грунт подстилающего основания; 2 – геомембрана; 3 – геотекстиль; 4 – ячейки георешётки с перфорированными стенками; 5 – штраба; 6 – точечная сварка георешётки с геотекстилем экструдером; 7 – наполнитель (щебень, гравий); 8 – торкретцементное покрытие

Мощение (одиночное или двойное) в настоящее время проектируют крайне редко, так как оно требует наличия камня соответствующей формы, применения квалифицированного ручного труда и трудоёмко. Плиты соединяют в гибкий тьюфак сваркой выпусков арматуры. Применять нескреплённые между собой железобетонные плиты нецелесообразно, так как для обеспечения устойчивости они должны иметь значительно большую толщину, чем плиты гибких тьюфяков. В последние годы всё большее применение находят габионные крепления. Одним из путей повышения противофильтрационной эффективности и срока службы конструкций

шириной понизу 1...4 м и коэффициентом заложения откосов не менее 0,5 м. Зуб может располагаться по оси плотины или смещаться в сторону верхового откоса. Если в основании плотины имеется проницаемый аллювиальный слой толщиной $T < (0,1...0,2) H_{пл}$ (до 5 м), то он должен быть прорезан зубом из связанных грунтов с врезкой в водонепроницаемый слой на 0,5...1 м (так называемый замок).

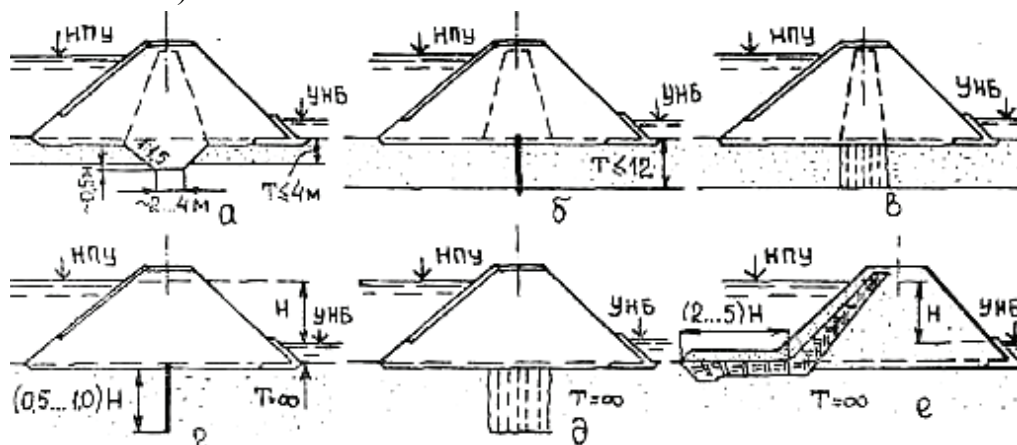


Рис. 4.18. Противофильтрационные элементы в нескальном проницаемом основании земляных насыпных плотин [19]: а – глинистый зуб; б – стальной шпунт; в, д – инъекционная завеса; г – стенка-завеса; е – глиняный понур с экраном

При толщине проницаемого слоя более 5 м, когда под ним располагается нескальный грунт, сопряжение с основанием производится посредством ПФУ в виде доведённых до водоупора с частичным в него заглублением: шпунтовой стенки (из дерева до 6,5 м, из металла или железобетона до 20...40 м); буробетонной завесы до 100 и более метров; траншейной завесы, выполняемой методом «стена в грунте» до 20...50 м; инъекционной завесы из цементных, глинисто-цементных, глинисто-силикатных, силикатных и других растворов, нагнетаемых в скважины, глубиной до 170 м; набивного шпунта до 15...25 м или в виде висячего зуба глубиной не менее 1...1,5 м в комбинации, например, со шпунтовой стенкой, заглубленной в водоупор на 0,5...1 м. Ширина висячего зуба понизу назначается из условия получения градиента напора не более 4...10, но не менее 3,0 м, с учётом механизмов, используемых для рытья траншеи; заложение откосов 1:0,5...1:1. При очень глубоком залегании водоупора могут устраиваться все вышеперечисленные ПФУ в «висячем» состоянии (т.е. не доходящими до водоупора), или понур, который сопрягается обычно с экраном, реже с ядром или телом плотины, если она однородная из глинистых грунтов. Глубина висячего ПФУ и длина понура корректируются после проведения фильтрационных расчётов. Понур применяют, когда по технико-экономическим показателям он предпочтительнее, чем висячая завеса или шпунт.

Минимальная ширина по дну канала b_k назначается из условия удобства производства работ, но не менее 1,5...2,0 м. Соотношение ширины канала по дну и глубины канала составляет $b_k/h_k > 2,2...6,0$. Отметка гребней боковых берм и дамб должна быть на 0,2...1,2 м выше максимального уровня воды в канале в зависимости от его пропускной способности, диапазона колебаний уровней, условий волнообразования и т. п. (табл. 4.7). Ширину дамб поверху обычно принимают до 4 м.

Таблица 4.6

Коэффициент заложения откосов каналов в выемках глубиной до 5 м

Грунт, слагающий дно русла	Откос, m_k	
	Подводный	Надводный (выше бермы)
Скала:		
невыветрившаяся	0,10...0,25	0
выветрившаяся	0,25...0,50	0,25
Полускальный водостойкий	0,50...1,00	0,50
Галечник и гравий с песком	1,25...1,50	1,00
Глина, суглинок тяжелый и средний	1,00...1,50	0,50...1,00
Суглинок легкий, супесь	1,25...2,00	1,00...1,50
Песок:		
крупно- и среднезернистый	1,25...2,25	1,50
мелкозернистый	1,50...2,50	2,00
пылеватый	3,00...3,50	2,50

Таблица 4.7

Минимальное превышение гребней дамб и берм канала над максимальным уровнем воды, м

Расход воды в канале, m^3/c	Канал	
	без облицовки и с грунтово-пленочным экраном	с облицовкой
≤ 1	0,2	0,15
$> 1...10$	0,3	0,20
$> 10...30$	0,4	0,30
$> 30...50$	0,5	0,35
$> 50...100$	0,6	0,40

$(0,5 \dots 0,3)H_{пл}$, толщина наклонного ядра – $(0,4 \dots 0,2)H_{пл}$, экрана – $(0,3 \dots 0,1)H_{пл}$.
Большее значение коэффициента соответствует более высоким плотинам. С целью обеспечения требуемых градиентов ядро может быть уширенного профиля с заложением граней до $0,5 \dots 0,75$.

Толщину участка понура в месте его примыкания к экрану назначают равной не менее 1/10 части высоты плотины или равной толщине экрана понизу. Наименьшую конструктивную толщину грунтового понура в его начале принимают равной не менее $0,5 \dots 0,7$ м. В месте примыкания понура к экрану предусматривается устройство общего зуба глубиной $3 \dots 3,5$ м. Длина понура принимается до $1,5 \dots 5$ напоров на плотину. Для предохранения от промерзания, усадки и повреждения в период строительства понур в зависимости от климата района защищают сверху слоем несвязного грунта толщиной $1 \dots 2$ м.

Экран (рис. 4.19, б) на верховом откосе плотины снабжается защитным слоем, толщина которого принимается с учётом глубины промерзания. Отметка гребня грунтового экрана после окончательной осадки плотины должна быть выше отметки ФПУ на сумму высот нагона и наката волны, а отметка гребня ядра – на значение ветрового нагона. При малом значении последних превышение верха ядра и диафрагмы над ФПУ принимают для плотин III и IV класса не менее $0,3$ м, для экрана – $0,5$ м.

Для предварительного проектирования можно принять толщину ПФУ в нижней части равной примерно $1/4 \dots 1/8$ от высоты плотины, но не менее $2,0$ м. Принятую толщину ПФУ t проверяют из условия недопущения в нём фильтрационных деформаций по формуле

$$t_{min} \geq H_n / I_{cr,m}, \quad (4.8)$$

где $I_{cr,m}$ – критический средний градиент напора (принимается по табл. 4.3, заимствованной из [13]); \square – коэффициент надежности по ответственности сооружений, определяемый по СП 58.13330.2012 [5] в зависимости от класса сооружений; для IV...I класса сооружений соответственно $\square = 1,1; 1,15; 1,20; 1,25$.

В плотинах с ПФУ в виде экрана или ядра при наличии в теле плотины или ее боковых призмах крупнообломочных грунтов необходимо устройство переходных зон, выполняемых по типу обратного фильтра и укладываемых по обе стороны ПФУ. Количество слоёв, их зерновой состав и толщина каждого слоя переходной зоны определяется расчётом и устанавливается с учётом условий производства работ. В низких и средненапорных плотинах толщина переходного слоя должна быть не менее $0,6$ м. В месте контакта грунтовых ПФУ с водопропускными сооружениями необходимо устраивать диафрагмы, а также увеличивать площадь контакта путём местных уширений ядер или экранов.

толщиной 20 см, а боковые стенки из бревен диаметром 30 см. Лоток можно выполнять и из монолитного железобетона В-30, F-300, облицованного досками, как предлагается сделать на Шибаетовском пруду (рис. 4.77). Здесь входной оголовок лотка снабжен подъемным механизмом для поднятия шандор. Лоток перекрыт сборными железобетонными плитами марки ПР, обшитыми досками. В русле лотка установлено деревянное колесо диаметром 4 м, вращающееся от постоянного течения воды, которое соединено передаточным механизмом с действующим мельничным жёрновом, расположенным в здании мельницы.

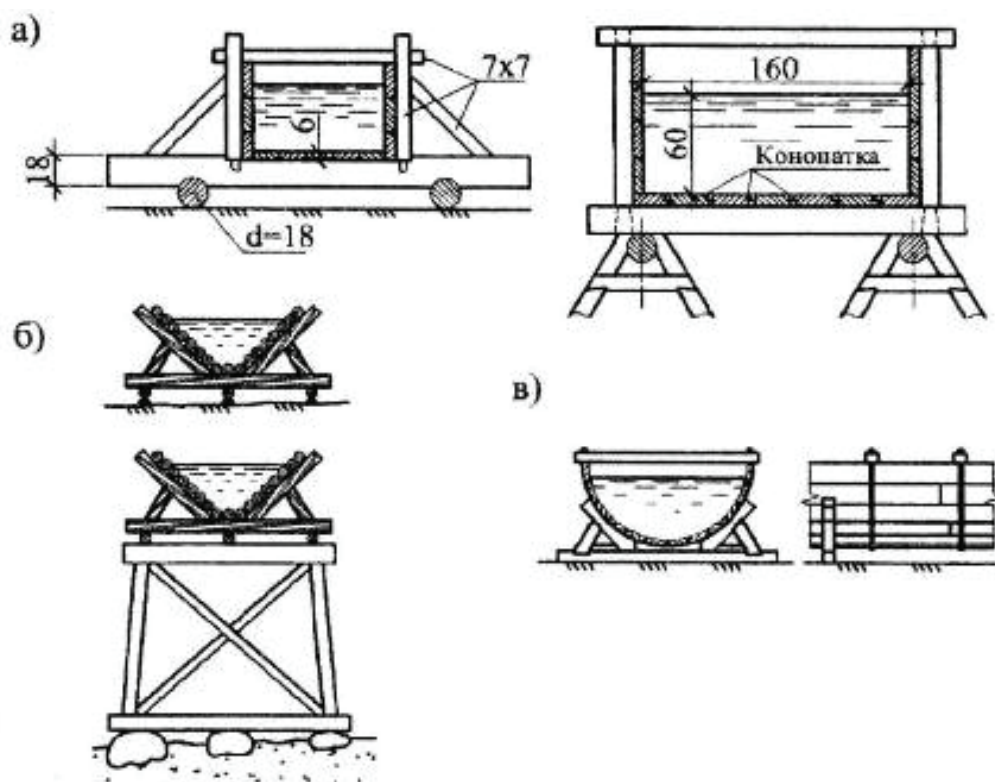


Рис. 4.76. Наиболее распространённые в XIX-XX вв. конструкции водопроводящих деревянных лотков [33]: а – дощатые рамные; б – бревенчатые на лежнях и на подкосных стойках (чаще сплавные); в – клёпочные, закрытые сверху

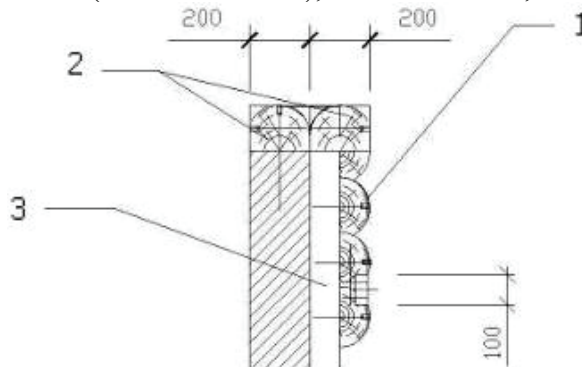


Рис. 4.77. Узел крепления стенки железобетонного мельничного лотка к фундаменту мельничного здания Шибаетовского пруда: 1 – стенка лотка из оцилиндрованного бревна \varnothing 200 мм; 2 – брус 150x200 мм; 3 – закладная деталь

- определение градиентов напора фильтрационного потока в теле плотины, основании, в местах выхода фильтрационного потока в дренаж и в местах контактов грунтов с различными характеристиками.

Различают экспериментальные и аналитические (гидромеханические и гидравлические) методы расчётов [2–5]. Фильтрационные расчёты выполняются в соответствии с принятыми допущениями и расчётными схемами, используя приближённые способы расчёта по различным аналитическим зависимостям, приведённым в рекомендуемой технической литературе и справочниках [2, 3, 4, 10, 13, 21, 24, 76, 116], где также представлены рекомендации по использованию программ расчёта на ПЭВМ. Фильтрационные расчёты плотин III и IV классов выполняют аналитическими методами, рассматривая плоскую задачу. Для плотин I и II классов такие методы допустимы лишь на предварительной стадии проектирования.

После построения кривой депрессии обычно делается вывод и оценивается эффективность принятого типа и параметров дренажа путем измерения минимального расстояния между кривой депрессии и поверхностью низового откоса. При более точных расчетах следует учитывать также высоту капиллярного поднятия в связных грунтах (рис. 4.20). Это расстояние не должно быть менее глубины промерзания грунта, слагающего низовой клин плотины. В противном случае необходимо принять меры для понижения кривой депрессии: принять другой тип дренажа, изменить параметры существующей конструкции, пригрузить откос другим грунтом или установить противофильтрационное устройство и т.п.

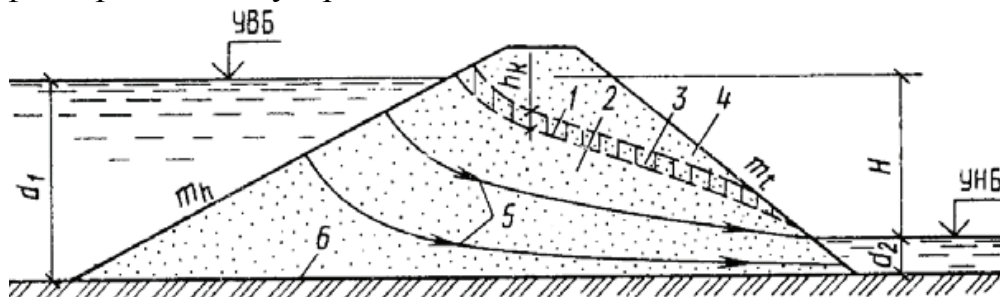


Рис. 4.20. Схема фильтрации воды через земляную плотину на водонепроницаемом основании: 1 – кривая депрессии; 2 – зона полного насыщения грунта водой; 3 – зона частичного насыщения грунта водой (капиллярный подъем); 4 – сухой грунт; 5 – линии токов; 6 – водоупор; h_k – высота капиллярного подъема; H – напор

Для определения общих фильтрационных потерь через тело и основание плотины её разбивают на русловой и береговые участки. В пределах каждого берегового участка может быть несколько подучастков. Напор на плотину на каждом из участков принимается одинаковым. Для каждого из отдельных участков проводят расчеты фильтрационных потерь с учетом возможного

грунта нет. Часто такие лотки выполняются из железобетона и укладывают их на свайные опоры и стойки рамного типа. Разработаны лотки глубиной 40, 50, 80 и 100 см.

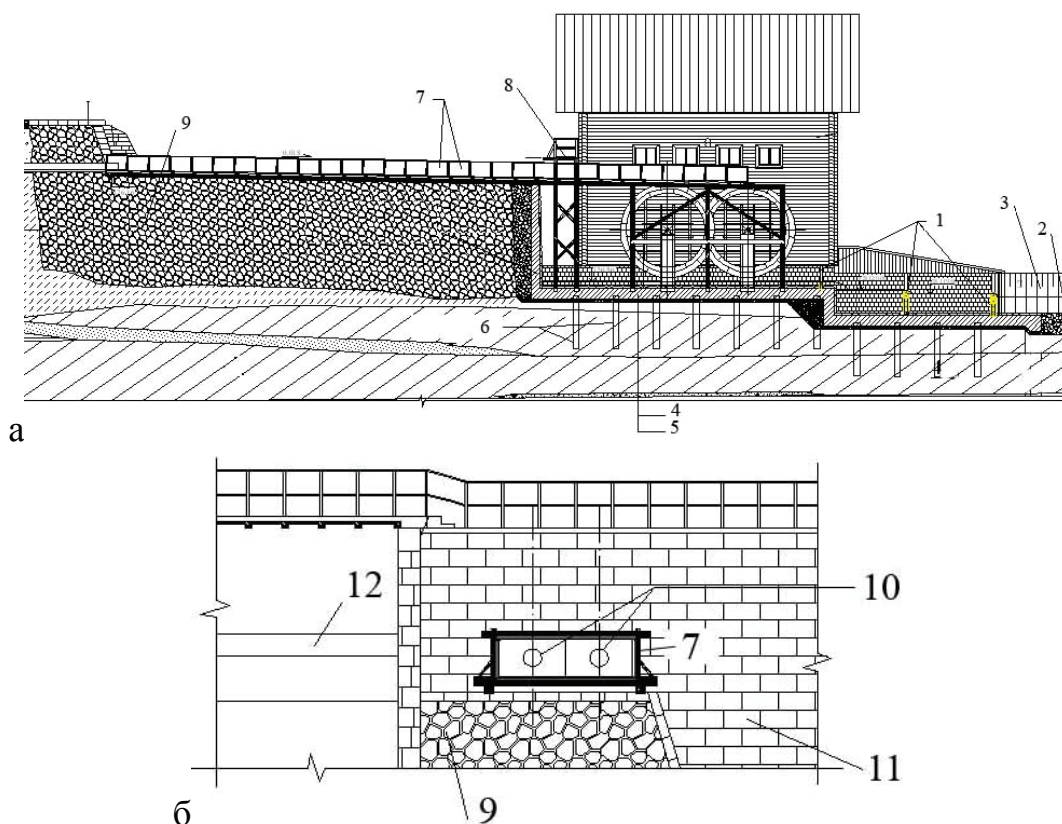


Рис. 4.73. Продольный (а) и поперечный (б) разрезы по деревянному мельничному лотку (7) Борисовского пруда, «Эководпроект⁺», 2007г.:

1 – деревянные шандоры; 2 – отсыпка рисбермы камнем $d_{cp} = 100$ мм; 3 – крепление откоса одерновкой; 4 – облицовка плиткой из камня; 5 – днище из монолитного ж/бетона; 6 – буронабивные сваи из труб $d = 300$ мм; 8 – эксплуатационная площадка для обслуживания лотков; 9 – стенка из бутовой кладки; 10 – мельничные трубы; 11 – левобережная белокаменная стенка плотины; 12 – водосброс

Большую роль играл **подводящий лоток** и для приостановки работы мельницы, т.е. прекращении подачи воды на водяное колесо. Для этого существовало два способа: 1 – воду выпускали в люк, устроенный в дне желоба, идущего от пруда, тогда при открытии заслонки вода уходила на пойму; 2 – для сохранения уровня воды в мельничном пруду желоб перекрывали задвижкой либо щитовым затвором или шандорами (рис. 4.74).

Наибольший действующий градиент напора в теле плотины в ее русловом сечении определяется по зависимости

$$I_{est,m} = \frac{H}{L + 0,4H_1}, \quad (4.11)$$

где: H – напор на плотине; L – расстояние между урезом воды в верхнем бьефе и началом дренажа (при отсутствии воды в нижнем бьефе); H_1 – глубина в верхнем бьефе.

Для основания плотины:

$$I_{est,o} \leq \frac{I_{cr,o}}{\gamma_n}, \quad (4.12)$$

где: $I_{est,o}$ – средний градиент напора в основании плотины; $I_{cr,o}$ – осредненный критический градиент напора (табл. 4.4).

Средний градиент напора в основании плотины в ее русловом сечении определяется по зависимости

$$I_{est,o} = \frac{H_1 - H_2}{L + 0,88T_{расч}}, \quad (4.13)$$

где: L – ширина плотины по основанию, измеряемая от подошвы верхового откоса до начала дренажа; H_2 – глубина в нижнем бьефе; $T_{расч}$ – заглубление расчетного водоупора (при отсутствии данных о положении реального водоупора в проекте принять $T_{расч} = 0,5 L$).

Значение допустимого осредненного градиента, $I_{cr,o}$ определяется в зависимости от типа грунта по таблице 4.4.

Таблица 4.4

Значения критического осредненного градиента, $I_{cr,o}$

Тип грунта основания плотины	$I_{cr,o}$
1	2
Глина	1,35
Суглинок	0,8
Супесь	0,6
Песок крупнозернистый	0,48
Песок среднезернистый	0,42
Песок мелкий	0,32

При наличии в составе грунтовой плотины противофильтрационных элементов (ядра, экрана, понура) проверка их фильтрационной прочности выполняется по условию (4.10), в которое вместо $I_{est,m}$ подставляется наибольший градиент напора, действующий в противофильтрационном элементе, а $I_{cr,m}$ определяется для грунта противофильтрационного элемента по табл. 4.3.

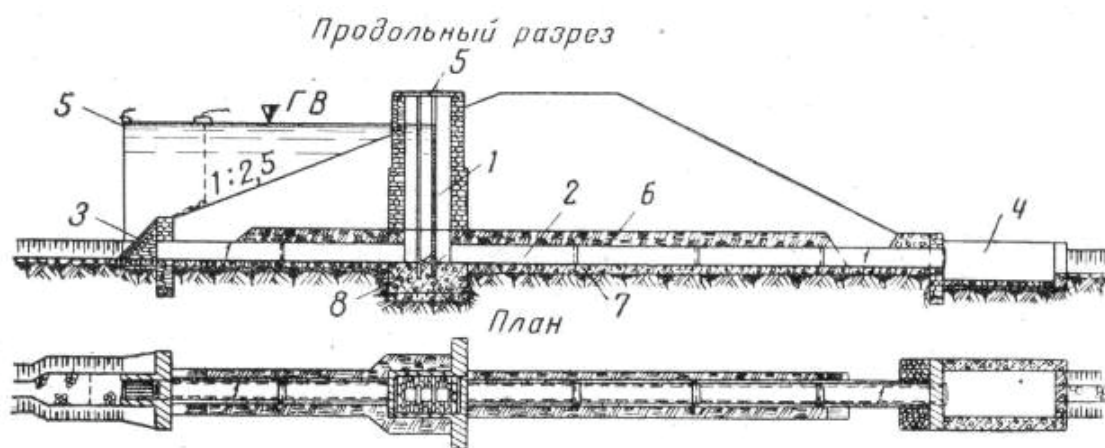


Рис. 4.69. **Донный водовыпуск с кирпичным стояком и металлической трубой [48]:** 1 – стояк; 2 – лежак; 3 – решётка входного оголовка; 4 – водобойный колодец; 5 – поплавок для подъёма решётки; 6 – глинистая засыпка вокруг трубы; 7 – бетонная подготовка; 8 – бетонная плита под стояком

Трубчатые водоспуски ранее выполняли из дерева, камня либо кирпича, а сейчас в их конструкции в качестве водопроводящего элемента используется металлическая, реже железобетонная или пластиковая труба (рис.4.70, 4.71). Она укладывается в отрытую траншею до начала работ по возведению мельницы.

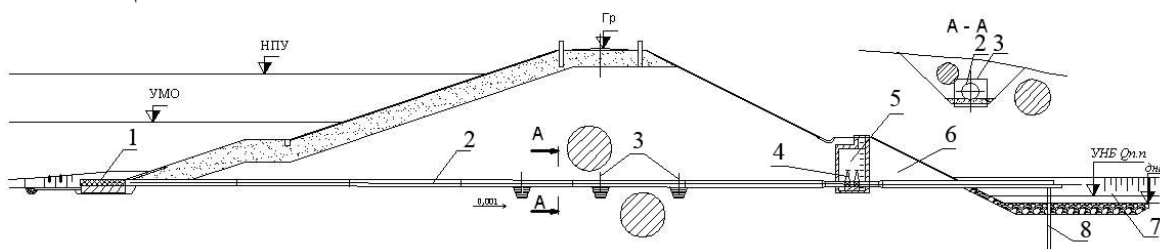


Рис. 4.70. **Схема донного водовыпуска [51]:** 1 – рыбозащитный короб из сетки на входе в трубу; 2 – труба донного водовыпуска; 3 – противофильтрационные диафрагмы из листовой стали; 4 – задвижка; 5 – камера затворов (или колодец); 6 – низовой откос; 7 – отводящий канал; 8 – свайная опора

В трубе устанавливают задвижку, перекрывающую трубу, когда воду сливать не нужно. Металлическая труба обрабатывается антикоррозионным составом и может быть скрыта под слоем камня в местах выхода на дневную поверхность или при расположении в русле водотока.

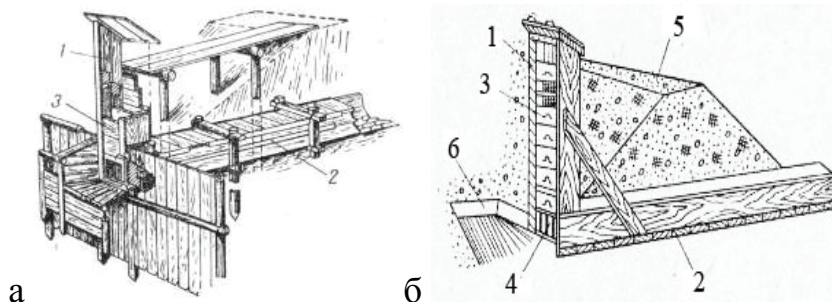


Рис. 4.71. **Деревянный донный водовыпуск (а) и водоспуск (б) типа «Монах»:** 1 – стояк; 2 – лежак; 3 – съёмные щиты; 4 – решётка; 5 – плотина в разрезе; 6 – рыбная яма

Расчеты устойчивости откосов относятся к расчетам по I группе предельных состояний (непригодность сооружения к эксплуатации), условие недопущения которых согласно СП 58.13330.2012 [5] записывается в виде

$$\gamma_{lc} F \leq \frac{R}{\gamma_n}, \quad (4.14)$$

где: γ_{lc} – коэффициент сочетания нагрузок, принимаемый при расчетах по первой группе предельных состояний: для основного сочетания нагрузок и воздействий в период нормальной эксплуатации – 1,00; для периода строительства и ремонта – 0,95; для особого сочетания нагрузок и воздействий: при особой нагрузке, в том числе сейсмической на уровне проектного землетрясения, годовой вероятностью 0,01 и менее – 0,95; при особой нагрузке, кроме сейсмической, годовой вероятностью 0,001 и менее – 0,90; при сейсмической нагрузке уровня максимального расчетного землетрясения – 0,85; F – расчетное значение обобщенного силового воздействия, определенное с учетом коэффициента надежности по нагрузке γ_f ; значения γ_f при расчетах по предельным состояниям первой группы должны приниматься в соответствии с [5] (в предварительных расчётах допускается принимать $\gamma_f = 1$); R – расчетное значение обобщенной несущей способности, определенное с учетом коэффициентов надежности по грунту γ_g и условий работы γ_c (коэффициенты γ_g и γ_c применяются в качестве сомножителя в расчетном значении R ; коэффициент условий работы $\gamma_c = 0,95$ учитывает приближенность расчетных схем); γ_n – коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый при расчетах по первой группе предельных состояний.

Расчеты устойчивости откосов грунтовых плотин обычно проводятся для нескольких наиболее неблагоприятных случаев работы плотины. Существует несколько методов расчёта устойчивости откосов. Обычно рассматривается плоская задача, при этом предполагается, что обрушение откосов может произойти по криволинейным поверхностям, проходящим в пределах тела плотины или с захватом части основания (рис. 4.20).



Рис. 4.20. Возможные виды обрушения низового откоса плотины [21]

сверху асфальтобетонных покрытий, ПФУ (деревянный экран или гидроизоляционные искусственные материалы) и геосинтетических материалов в качестве обратных фильтров (рис. 4.66). Габионные грани водопропускного тракта можно задекорировать, так же, как и аналогичные конструкции берегоукреплений и подпорных стен набережных – деревом, камнем (наброской или на специальном растворе), специализированными газонными покрытиями, армирующими элементами Макволл и т.п. [78].

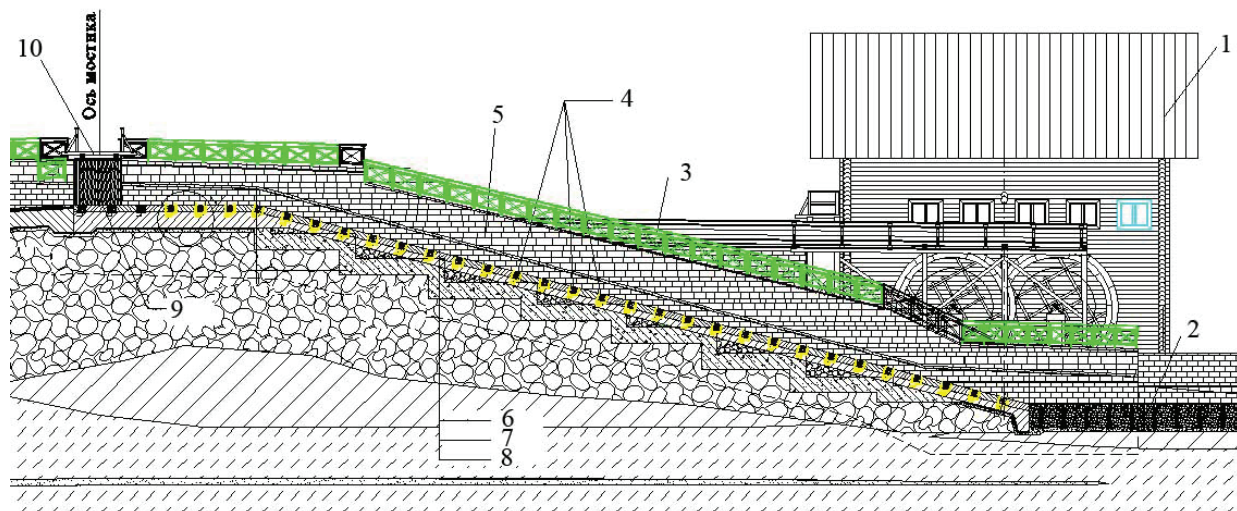


Рис. 4.65. Продольный разрез по реконструируемому водосбросу Борисовского пруда, «Экопроект⁺», 2007г.: 1 – здание мельницы; 2 – деревянные ряжи, заполненные камнем $d_{cp} = 200...300$ мм; 3 – подводящий лоток мельницы; 4 – брус 300x300 мм, заанкеренный в ж/бетон; 5 – реставрация исторической облицовки устоя водосброса; 6 – плиты из песчаника $t = 300$ мм; 7 – существующие бетонные ступени водосброса; 8 – существующее бутовое основание водосброса, укрепленное ОТВД «Микродур»; 9 – облицовка быков промежуточных устоев деревянными пластинами; 10 – деревянный пешеходный мостик

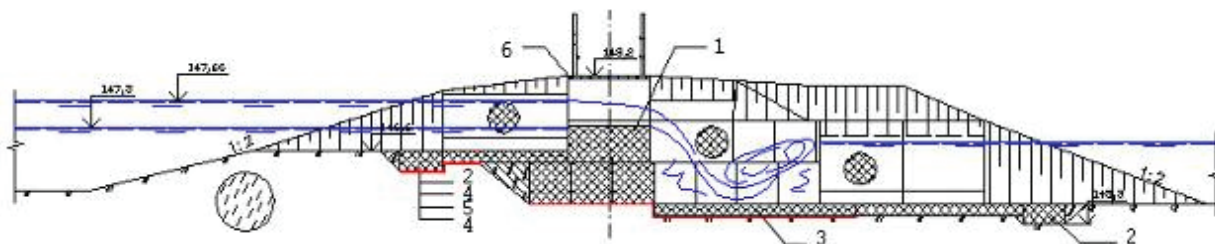


Рис. 4.66. Водосбросная плотина из габионов: 1 – бетонировка или покрытие из камня на растворе 0,15 м; 2 – габионы 2x1x0,5 м; 3 – матрасы Рено 3x2x0,23 м; 4 – геотекстиль; 5 – полиэтиленовая плёнка; 6 – плиты перекрытия

Есть ряд предложений использования мобильных регулирующих сооружений рукавного типа (МРСРТ) с водохозяйственным узлом и автономным энергообеспечением (рис. 4.67), выполняемого на базе низконапорной мембранно-вантовой плотины из композитных материалов с гибким рукавом, обеспечивающего: свободный пропуск водного потока в период половодий и паводков; мобильность; низкую материалоемкость и стоимость; простоту монтажа и эксплуатации. Это позволяет расширить

плотин определяется углом естественного откоса, зависящим от размеров и формы камней и способов их укладки. Если угол откоса каменной наброски (при предварительно принятом заложении m_h или m_t) равен α , а угол внутреннего трения φ , то коэффициент запаса устойчивости можно приближённо определить по формуле

$$k_{уст} = tg \varphi / tg \alpha . \quad (4.17)$$

При наличии сейсмических воздействий откосы выполняют более пологими, увеличивая заложение их на 15...20 %.

Для намывных плотин наиболее неблагоприятным для устойчивости откосов может оказаться один из этапов её возведения. Поэтому в расчётах следует учитывать анизотропность грунта (изменение коэффициентов фильтрации грунта в зависимости от её направления), прочностные и фильтрационные свойства грунта, намывтого в тело плотины.

Расчёты на осадку обычно ведутся методом послойного суммирования, как для тела плотины, так и для основания. Они проводятся для уточнения объёма работ. Кроме того, значительные и неравномерные осадки могут привести к деформации ПФУ, что наиболее вероятно при резко изменяющемся поперечном сечении створа водотока (рис. 4.21).

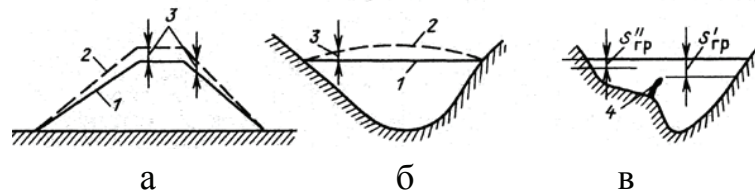


Рис. 4.21. **Осадка тела плотины** [9]: а – осадка тела плотины в створе с берегами плавного очертания; б – то же, в створе с резко изменяющимся очертанием берегов; 1 – окончательный профиль плотины; 2 – профиль плотины после завершения строительства; 3 – запас по высоте на осадку; 4 – трещины, возникающие при осадке

Отметка гребня строительного профиля плотины находится в месте наибольшей осадки плотины – в русловой части водотока, при этом можно принять осадку гребня плотины в местах её боковых примыканий равной нулю.

$$\nabla \Gamma_{р, стр} = \nabla \Gamma_{р} + \Delta S. \quad (4.18)$$

Суммарная осадка тела и основания плотины равна

$$\Delta S = S_{осн} + S_{нл} = S_{зр}, \quad (4.19)$$

где $S_{зр}$, $S_{осн}$, $S_{нл}$ – соответственно осадка гребня, основания и тела плотины.

Предварительно осадку можно при оценке строительной отметки гребня грунтовой плотины учитывать в долях от высоты плотины. Для низких плотин и средненапорных земляных плотин

$$\Delta S = (0,005...0,015) H_{нл}, \quad (4.20)$$

где $H_{нл}$ – высота плотины. Осадка гребня каменно-набросных плотин равна $\Delta S = 0,001 (H_{нл})^{1/3}$, а каменно-земляных плотин составляет примерно $0,01 H_{нл}$.

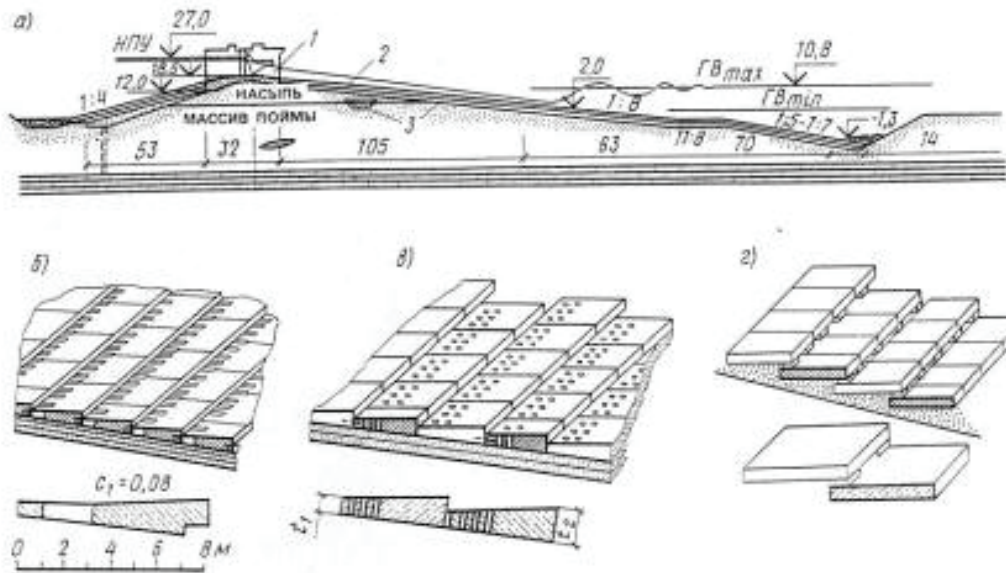


Рис. 4.61. **Водосливная железобетонно-земляная плотина [41]:** (а) – схема плотины с быстротоком 1 – оголовком, 2 – лоток; 3 - дренаж; плиты водобоя и быстротока – клиновидные с консолью без связи (б), то же, без консоли с гибкими связями (в), плоские прямоугольного сечения (г)

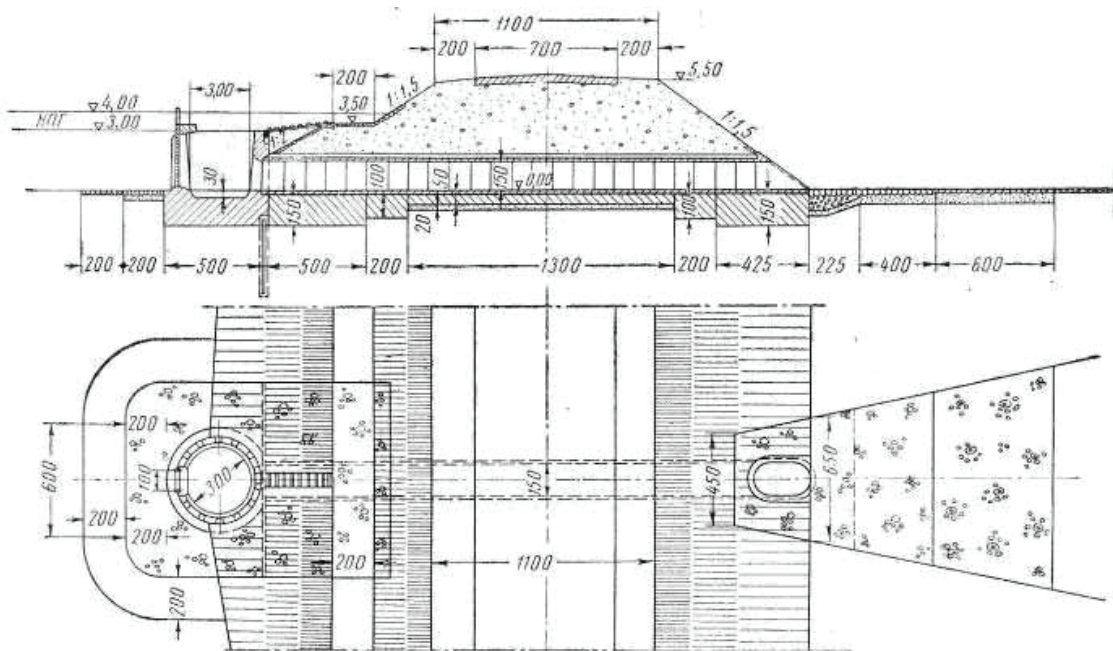


Рис. 4.62. **Продольный разрез и план трубчатого водосбора с шахтно-башенным входным оголовком**

Например, для того, чтобы могла работать мельница в усадьбе «Коломенское», проектом было предусмотрено создание ряжевой плотины для повышения уровня воды в верхней части р. Жужи. Таким образом, из водоёма, образованного в верхней части речки, вода по желобу попадала на механизм жерновов. При этом проектом плотины не предусматривалось использование ее в качестве моста. Поэтому для создания связи между левым и правым берегами р. Жужи было предусмотрено строительство двух мостов. Верхний мост был запроектирован как проезжий, нижний – как пешеходный. Кроме того, к мельнице было предусмотрено устройство пешеходных подходов, площадок для обозрения и прогулочных дорожек вдоль берегов пруда (рис. 4.24 и 4.25).

Наибольшее распространение деревянные мельничные плотины первоначально получили в местностях, богатых лесом. Однако, несмотря на их относительную дешевизну и на большую давность их применения в гидротехническом строительстве, они обладают существенными недостатками. Они: относительно быстро сгнивают (их надводная часть, находящаяся в зоне переменных уровней, служит около 15 лет, а с применением антисептиков – редко более 25 лет); требуют большого количества медленно воспроизводимых природой лесных материалов, высококвалифицированных плотников, особенно при использовании сырого леса; древесина со временем деформируется (усушка, коробление, морозобоины), а под влиянием влажности теряет прочность; при возведении деревянных плотин встречаются трудности соединения их отдельных элементов, работающих на растяжение, и пр.

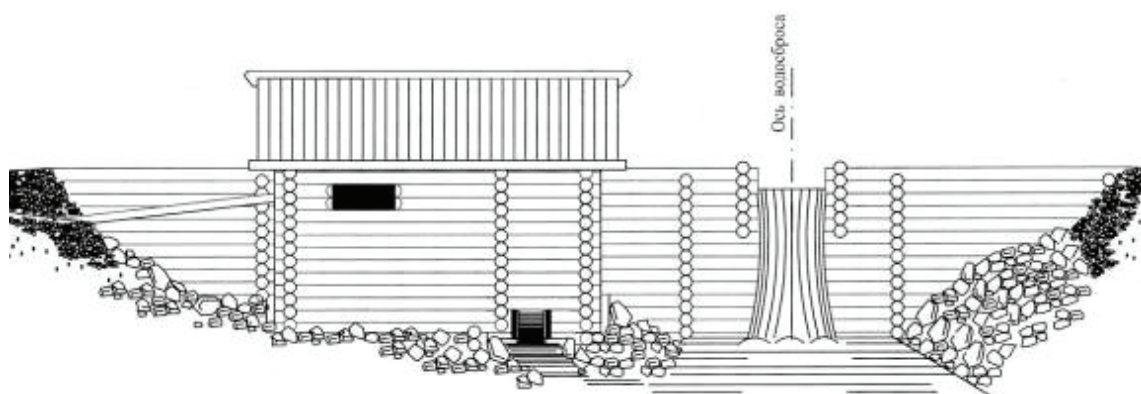


Рис. 4.24. Вид с нижнего бьефа на мельничную ряжевую плотину в ГМЗ «Коломенское», ООО «Аквариус», 2002 г.

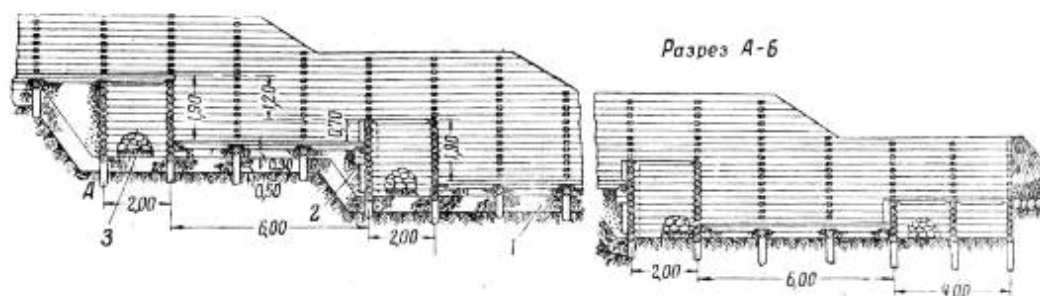


Рис. 4.57. **Ряжевый многоступенчатый перепад [41]:** 1 – глинобетон; 2 – песчано-гравелистый грунт; 3 – каменная загрузка ящиков ряжей

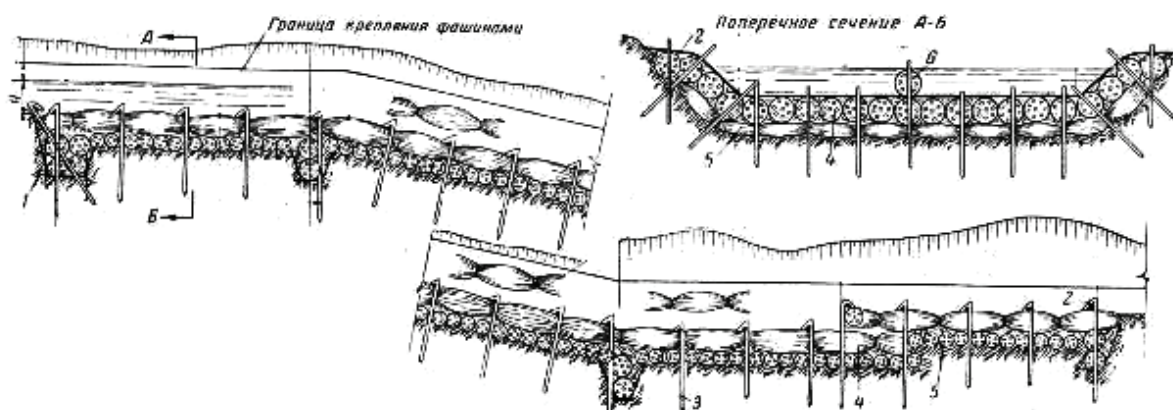


Рис. 4.58. **Быстроток, укрепленный фашинами [7]:** 1 – набивка из глинистого утрамбованного грунта; 2 – прутяной канат; 3 – колья \varnothing 5 см; 4 – фашины \varnothing 35 см; 5 – фашины \varnothing 20 см; 6 – разделительная фашина

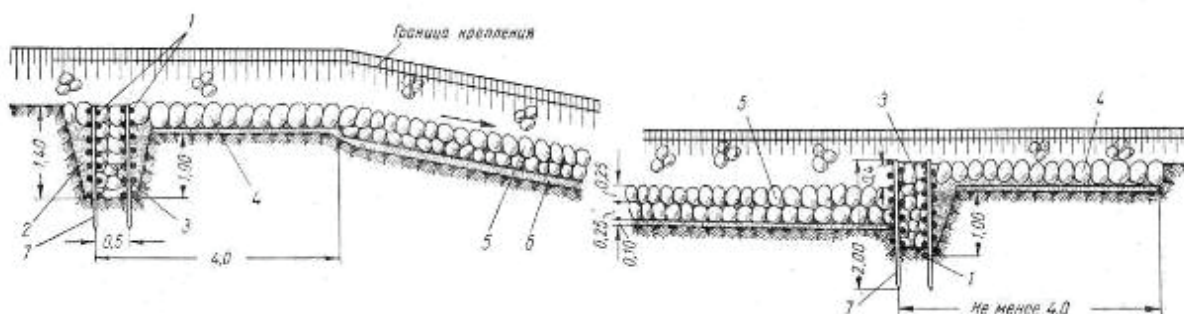


Рис. 4.59. **Мощный камнем быстроток [7]:** 1 – плетень из хвороста; 2 – набивка глинистым утрамбованным грунтом; 3 – каменная наброска; 4 – мощение камнем в один ряд; 5 – мощение камнем в два ряда; 6 – песок с гравием слоем 0,1 м; 7 – колья \varnothing 8...10 см и длиной 2 м

При проектировании водосбросных сооружений раньше широко пользовались типовыми проектами (например, для ГТС сельскохозяйственного назначения с напорами от 0,5 до 10 м (рис. 4.60) [51].

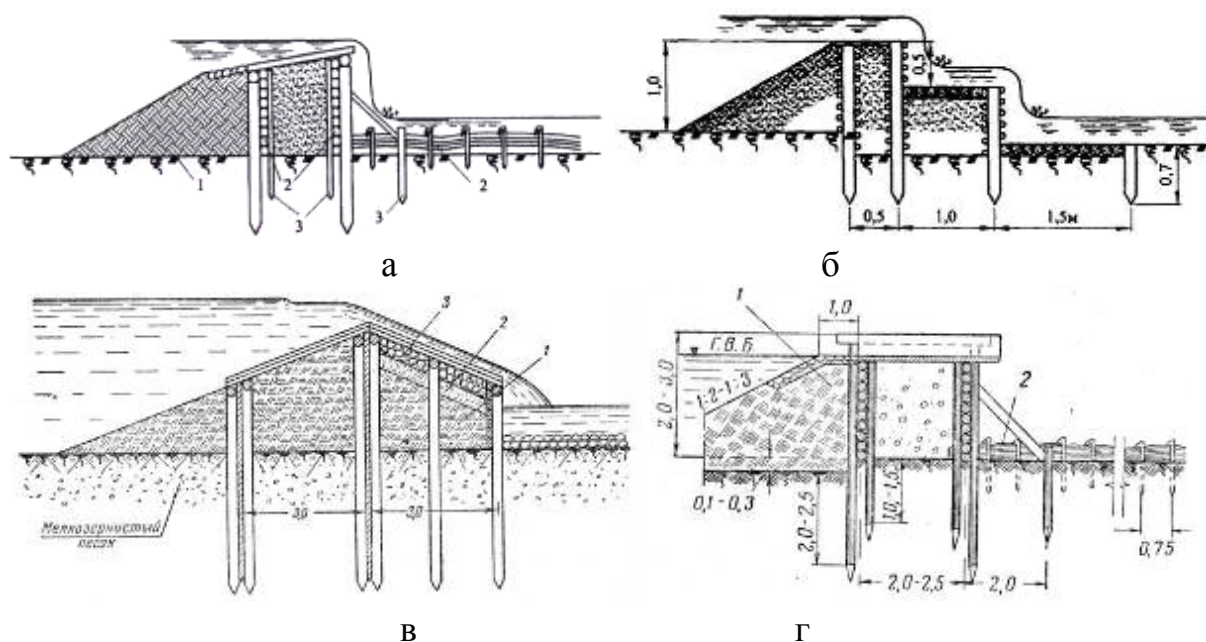


Рис. 4.26. Простейшие переливные плотины: а – свайная с жердевыми стенками; 1 – суглинок; 2 – жердевая стенка; 3 – сваи; 4 – хворостяная выстилка; б – плетневая; 5 – плетень; 6 – фашины; 7 – колья; в – шпунтовая: 1 – глина; 2 – гравийный слой; 3 – камень; г – свайно-заборчатая: 1 – глинистый грунт; 2 – фашины или хворостяная выстилка

При недостатке вблизи створа достаточного количества суглинка или камня, но при наличии ивового или другого хвороста можно устраивать **фашинно-хворостяные** плотины (рис. 4.27). Они могут быть выполнены из горизонтально уложенных слоёв фашин или хвороста, или из наклонных. Такие плотины часто могут быть водосливными, например, плотина С.В. Избаша (рис. 4.27,б), состоящая из лёгких наклонных фашин диаметром 0,25...0,3 м, длиной от 2,5 до 6,5 м, пригружаемых сверху грунтом с соломой и камнем. Упором фашинной кладки служит ряж американской рубки, загруженный камнем. В качестве ПФУ раньше у верхового откоса плотины поверх фашин укладывали слой соломы, мха или навоза в 0,15...0,2 м, с последующей укладкой соломенных матов и отсыпкой суглинка.

Для защиты основания от размыва по контакту с фашинной кладкой, в русловой части плотины укладывается хворостяной тюфяк толщиной 0,4 м, а на береговых склонах устраивается траншея глубиной до 1 м, заполненная глиной (замок). Дно нижнего бьефа также крепится тюфяком, пригруженным камнем, а берега укрепляются хворостяной выстилкой толщиной 0,3 м по слою соломы или мха в 0,2 м, прижимаемыми жердями или кольями [7]. В современных подпорных сооружениях тюфяки могут быть заменены **габионными** элементами: матрацами Рено, Джамбо, цилиндрическими либо коробчатыми конструкциями.

Регулируемые водопропускные сооружения снабжаются затворами (чаще это плоские щитовые затворы из стали или дерева, шандоры, сегментные и прочие) и устройствами для их управления. Устройство регулируемого водосброса с отметкой водосливного порога, расположенной ниже НПУ и определяемой специальным расчётом, необходимо, если возможность повышения уровня в пруду выше НПУ исключается или на гидроузлах с гидродвигателями для обеспечения накапливания воды, например, для суточного регулирования (рис. 4.54).

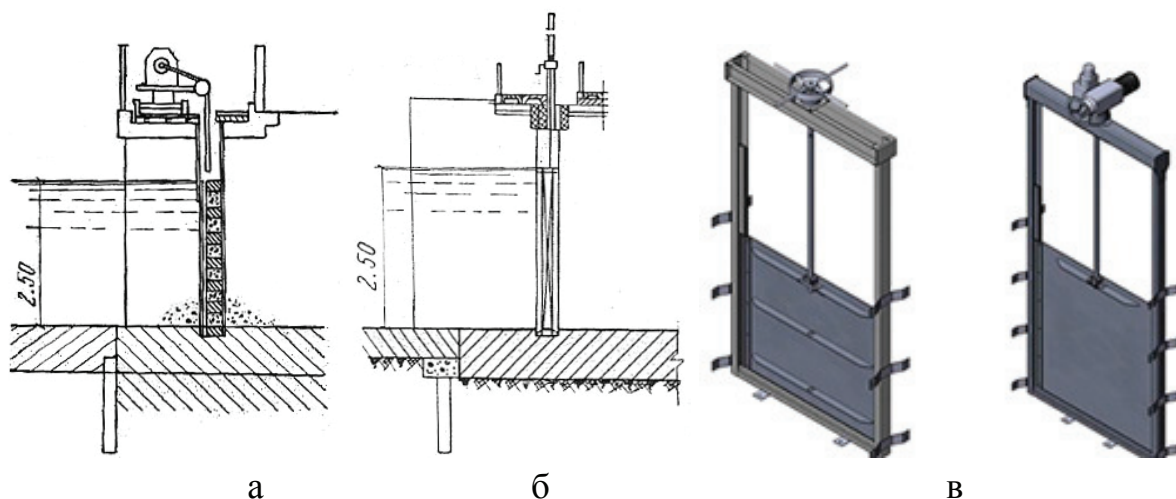


Рис. 4.54. Наиболее распространённые типы затворов малых регулирующих сооружений: а – деревянные шандоры (брусья); б – плоский скользящий металлический затвор с винтовым подъёмником; в – щитовые с разными типами рам из металла

Затворы не только регулируют уровень воды ВБ и пропуск расходов воды в НБ, но и пропуск наносов и льда. Из всего многообразия затворов ГТС на мельничных прудах чаще всего используются самые распространенные одиночные плоские (щитовые - деревянные или металлические) затворы и шандоры (рис. 4.55). Основной недостаток плоских затворов – потребность в значительных подъёмных усилиях и относительно высокая стоимость подъёмных механизмов и пр.

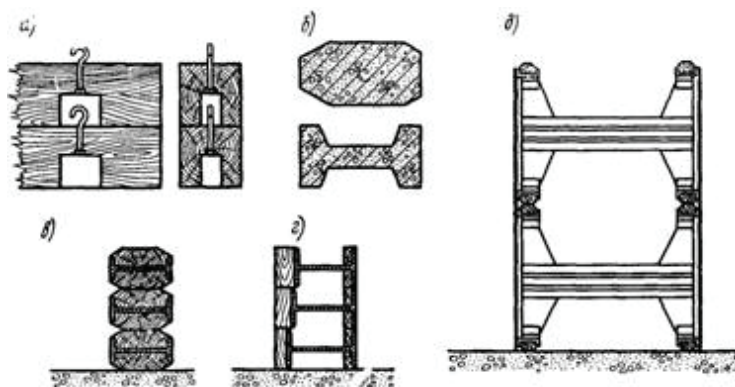


Рис. 4.55. Типы шандор: а – деревянные брусья; б – железобетонные балки; в, г – балочного типа из прокатных двутавровых балок; д – из двутавровых балок составного сечения

В них в тело плотины включали хворостяную или стланевую кладку. Хворост или тонкие деревья укладывались рядами, вершинами против течения, и пересыпались землёй и камнем. Откос сливной грани составлял около 2:1. Комли хвороста или деревьев образовывали сливную грань плотины, а с напорной стороны с уклоном от 1:1,5 до 1:3 отсыпался земляной или глинобетонный экран, переходящий в понурную часть. Стлань пригружалась к низовому откосу гравием, галькой и мелким камнем или щебнем, а у вершин более мелким материалом. Лучше всего загрузки стлани выполнять по типу обратного фильтра. Для гашения энергии у стланевых плотин устраивался низовой уступ (гусёк), составляющий одно целое с плотиной. Его высота определялась меженным горизонтом.

Поскольку стланевая плотина представляет собой нерегулируемый водосброс, то для пропуска малых зимних расходов устраивали водоспуск. Причём часто он располагался на деривационном канале, как и здание мельницы. Достоинством стланевых плотин являлась их невысокая стоимость и возможность использования почти исключительно строительных местных материалов: ели, сосны и древесных лиственных пород, которые всегда можно найти в средней и северной частях РФ, а также грунта для заполнения стланевой кладки.

Большими достоинствами стланевых плотин являлись: возможность выполнения строительных работ без водоотлива; малые размеры отверстия водоспуска для пропуска зимних и меженных расходов. Однако эксплуатация гидроузлов с такими плотинами оказалась сложной. Обязательным условием для безаварийного пропуска весеннего ледохода является устройство низового уступа для гашения удара переливающейся воды и укрепления дна ниже плотины туюфками. В зимнее же время для исключения образования наледей на плотине сброс воды через неё идти не должен, а весь расход воды пропускается через водоспуск, мельницу или гидроэнергетическое устройство. Наоборот, весной, летом и осенью следует излишки воды, кроме используемой на мельнице или ГЭС, направлять через плотину, чтобы она постоянно смачивалась для предотвращения быстрого загнивания. Предельной высотой стланевых плотин раньше считалось примерно 5 м. Часто дно реки бутовали валунами. Понурную часть перед запрудой, для уменьшения фильтрации и удержания воды в водоёме, закладывали хворостом, затем соломой, не перегнившим навозом и в последнюю очередь всё засыпали глиной и уплотняли. Весной такие запруды нередко прорывались во время половодья, и их приходилось строить заново. Чтобы избежать этого, плотины часто делали с водопропускным отверстием, перекрываемым подъёмным щитом.

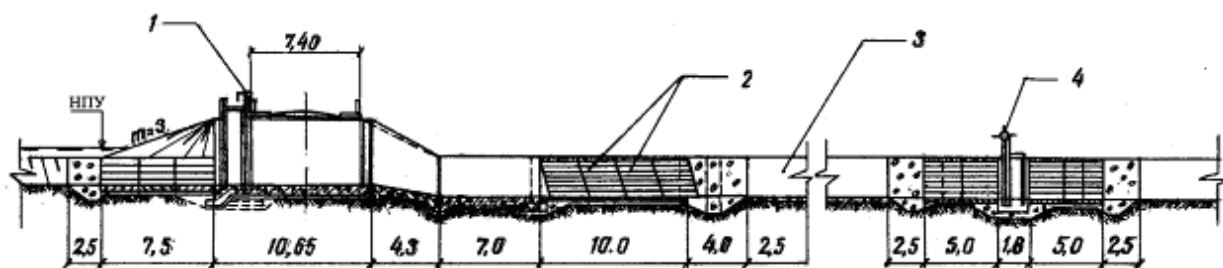
Досчатая плотина может служить одновременно для измерения

- **лоток**, служащий для подачи необходимого расхода воды к водяному колесу мельницы;
- подводящий либо отводящий **канал**;
- возможно устройство трубчатого либо **мостового перехода**, а также **труб водопровода подпитки** и насосной установки.

По расположению в гидроузле относительно русла водотока различают русловые, пойменные и береговые водопропускные сооружения. По месту расположения проточного тракта водопропускных сооружений в компоновке гидроузла можно выделить плотинные и береговые ГТС. По конструктивным особенностям поперечного сечения водопропускные сооружения могут быть с незамкнутым сечением - открытые (лотки), с замкнутым поперечным сечением - закрытые (труба, туннель) и комбинированные, имеющие участки и с открытыми и с закрытыми сечениями. Движение воды в водопропускных сооружениях может быть безнапорным – со свободной поверхностью, напорным и со смешанным гидравлическим режимом, когда есть участки как с напорным, так и с безнапорным движением воды [6, 12, 14, 18, 24].

В соответствии с назначением, местоположением в плане, по высоте относительно дна водотока водопропускные сооружения имеют свои конструктивные особенности. По наличию затворов они могут быть **нерегулируемыми** – без затворов, начинающими работать автоматически при подъеме уровня воды в водоёме выше отметки водосливного порога и **регулируемыми** – с затвором. Нерегулируемые водосбросы без наличия дополнительных устройств и участия службы эксплуатации могут осуществить предупредительную сработку водоёма. При выборе типа водопропускного сооружения надо учитывать, что сброс небольших по величине паводковых расходов (примерно до 4 м³/с) можно производить обычно донным водоспуском, а более 5 м³/с – через открытые водоспуски или отдельные водосбросы (рис. 4.52).

При наличии быстро наступающих паводков и допустимости превышения уровня воды в водоёме целесообразно применить нерегулируемый (автоматический) водосброс, с расположением гребня водослива на отметке НПУ.



а

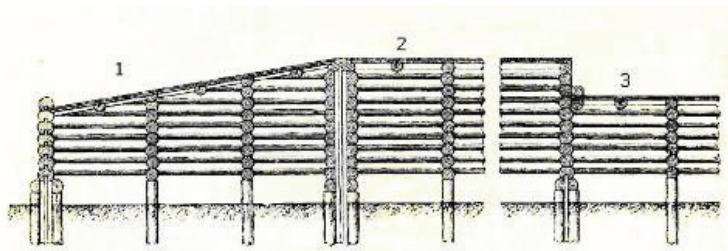


Рис. 4.31. Свайно-ряжевый флютбет: 1 – пунур; 2 – водобой; 3 – слив

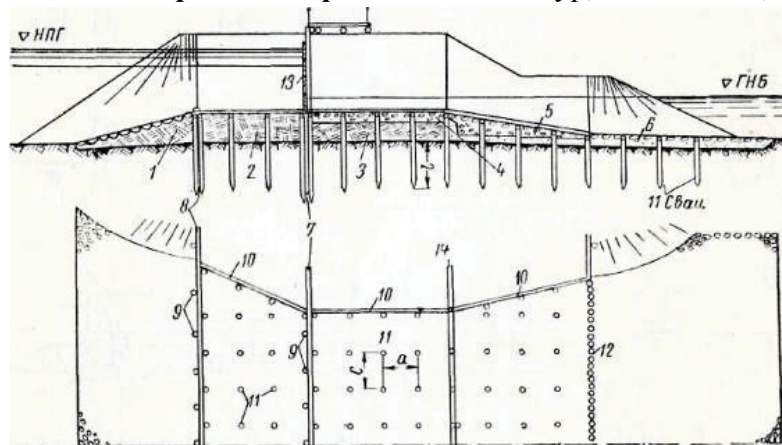


Рис. 4.32. Продольный разрез и план свайного флютбета: 1 – предпунурная подушка (глина); 2 – пунур (глина); 3 – водобой (глинобетон); 4 – обратный фильтр; 5 – слив с уклоном от 1/8 до 1/12; 6 – рисберма; 7 – королевый шпунт; 8 – пунурный шпунт; 9 – маячные сваи; 10 – обшивка; 11 – сваи; 12 – свайный частокол; 13 – затворы; 14 – стенка из пластин по сваям

Шпунтовые ряды бывают досчатые (обычно водобойный и сливной) и брусчатые (чаще пунурный и королевый) (рис. 4.33). Иногда при наличии в основании плотин водонепроницаемых грунтов ограничиваются одним королевым шпунтом. Конструкция свайного флютбета (разрезного и неразрезного) издавна имеет широкое распространение в русской гидротехнике. Пунурный пол должен быть водонепроницаем, с этой целью его устраивают из полусухих досок и пластин, конопатят швы, прокладывают пропитанный битумом брезент или войлок между настилом из досок и пластин.

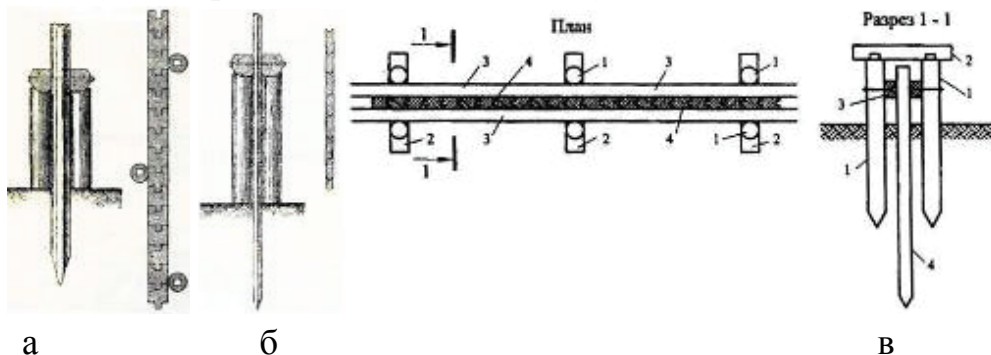


Рис. 4.33. Брусчатые (а) и досчатые (б) шпунтовые свайные ряды; в – организация забивки деревянных шпунтовых свай с применением маячных свай и направляющих брусьев: 1 – маячные сваи; 2 – схватки; 3 – направляющие брусья; 4 – шпунтовые сваи; ход забивки шпунта – слева направо; по окончании работ направляющая конструкция разбирается.

Водосливная часть **плотины из армированного грунта** состоит из бетонной водосливной плиты или порога над телом армированной насыпи, усиленной облицовки низового откоса плотины и устройств нижнего бьефа, обеспечивающих гашение энергии потока и защиты от размыва подошвы плотины и примыкающего участка нижнего бьефа [78]. Для этого облицовка низовой грани может устанавливаться на фундамент, а на скальном основании на бетонную подушку. Гашение энергии чаще всего происходит в водобойном колодце. Армирующими элементами могут быть металлические стержни, ленты из гальванизированной стали, решётки, сетки или ткани, сделанные из различных материалов, например, геотекстиля, синтетические мешки, заполненные суглинком и т.п.

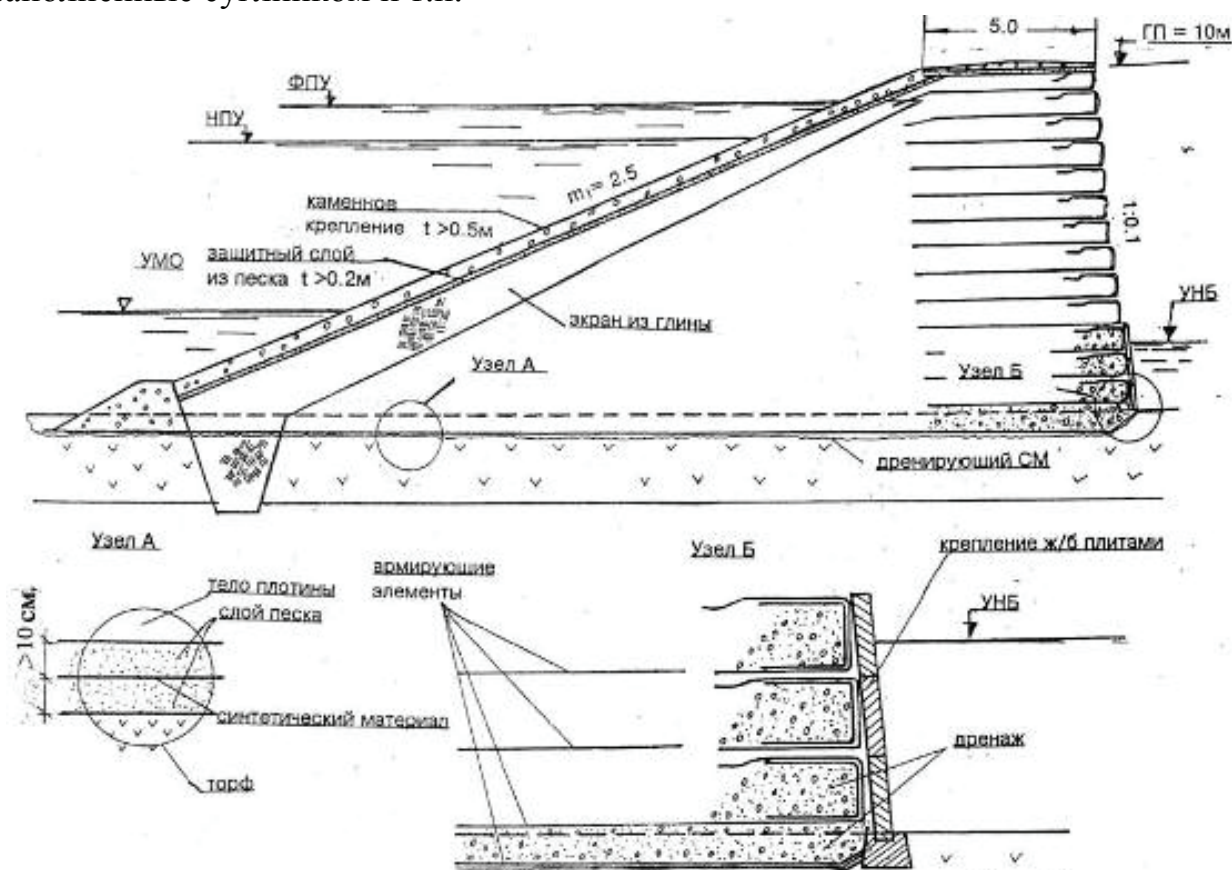


Рис. 4.48. Пример земляной плотины из армированного грунта высотой до 10 м [34]

В настоящее время разработаны и исследованы конструкции с применением новых композитных материалов для водо- и энергоснабжения децентрализованных объектов малой энергоёмкости в условиях малых водотоков с меженным среднеголетним расходом менее $5 \text{ м}^3/\text{с}$ и глубиной в среднем до 1,5 м [114, 115]. Мобильными сооружениями на таких водотоках являются **мембранно-вантовые** плотины и дамбы (рис. 4.49 – 4.51).

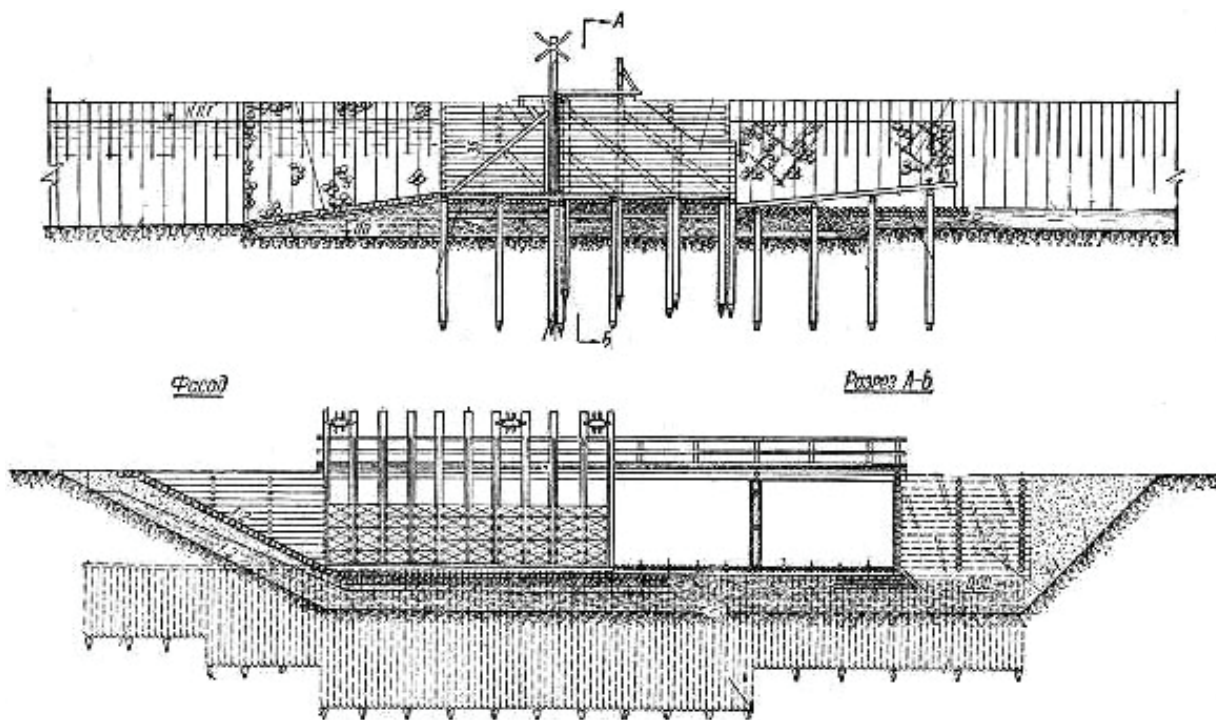


Рис. 4.36. Деревянная свайно-ряжевая плотина с контрфорсными опорами

Для возведения ряжевых плотин требуется большой объём земляных работ по отрытию котлована. Стоечно-обшивные плотины требуют меньшего количества лесоматериалов и объёма земляных работ, но при напорах более 3 м их сооружение осложняется. В таких плотинах стены устоев и бычков изготавливаются из пластин или досок, опирающихся на стойки или забитые в грунт сваи. Для различных элементов гидротехнических сооружений используются разные схемы рубки ряжей (рис. 4.38). Углы наружных стен ряжа рубятся обычно в лапу под прямым углом, внутренние стены с лицевыми стенами соединяются лапой с подтеской в месте врубки.

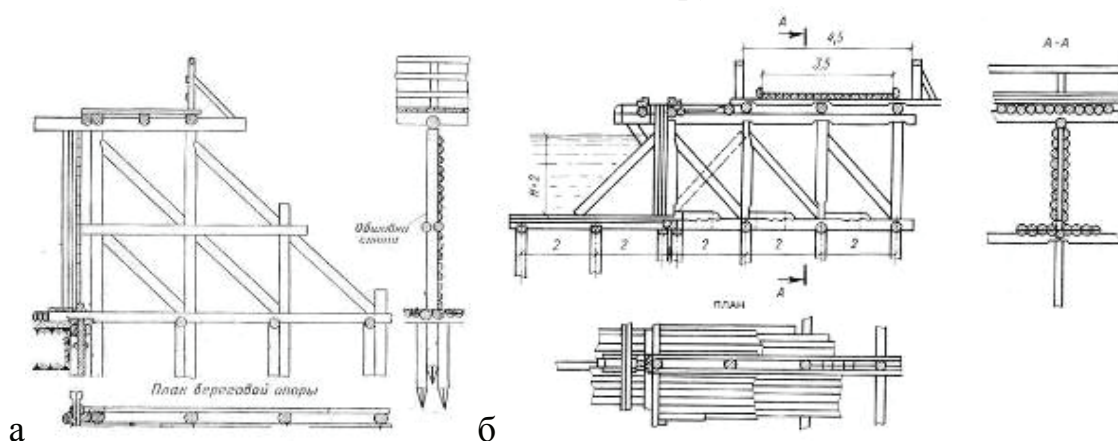
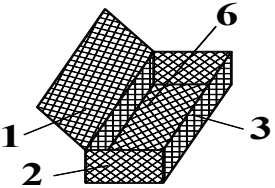
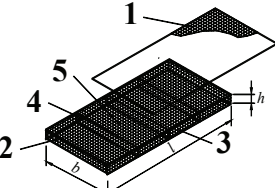
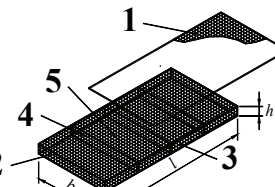
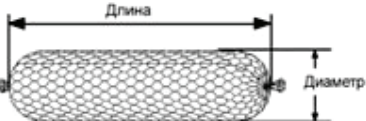


Рис. 4.37. Контрфорсная плотина с одним королевым шпунтом (а) и стоечный контрфорс (б) [70]

конструкции заводского изготовления по ГОСТ Р 52132-2003 и ASTM A975-97 выполняются из металлической сетки двойного кручения с шестиугольными ячейками. Двойное кручение проволоочной сетки обеспечивает целостность, прочность и равномерность распределения нагрузок, предотвращает раскручивание в случае разрыва сетки. Для защиты плотин и дамб на морских акваториях покрытие габионной сетки из ПВХ обязательно. Габионные каркасы заполняются камнем твердых, преимущественно тяжелых и слабовыветривающихся водостойких пород, размерами не менее ячейки габионной сетки, но не менее 0,04 м (щебень, галька, валуны, рваный камень карьерных разработок и др. фракции 70...150 мм). Лицевые камни должны быть наиболее крупными и выступать из ячеек. Внутри габиона укладываются мелкие камни. После заполнения ёмкостей образуется габионный элемент с пористостью 30...40%. Постепенно свободный объём пор замещается частицами грунта, через несколько лет происходит полная консолидация сооружения, после чего оно приобретает максимальную устойчивость.

Таблица 4.5

Типовые размеры габионных конструкций Группы компаний «Маккаферри»

Габионные структуры	Общий вид	Длина, м	Ширина, м	Высота, м
Габионы		1,5; 2; 3; 4	1	0,5; 1
Матрасы Джамбо		3; 4; 5; 6	2	0,5
Матрасы Рено		3; 4; 5; 6	2	0,17; 0,23; 0,3
Цилиндрические габионы		2; 3; 4	Диаметр 0,65; 0,95	

Примечание: 1 – крышка; 2 – торцевая стенка; 3 – боковая стенка; 4 – диафрагма; 5 – основа; 6 – днище

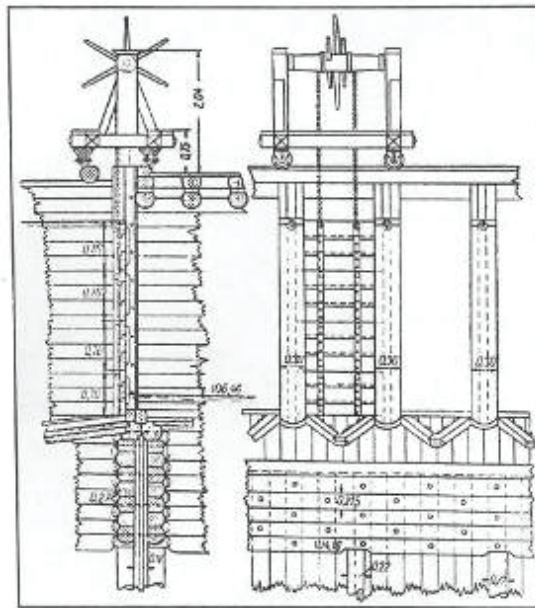


Рис. 4.39. Передвижной воротниковый подъёмник

При рычажном подъёме вместо металлических полос посередине щита (обычно высотой от 0,5 до 1 м и шириной 0,8...1,6 м) укрепляется деревянный брус. При ширине пролёта более 2 м употребляются шандоры (брусья или брёвна, обтёсанные с верхней и нижней стороны высотой 0,15...0,2 м) (рис. 4.40, а-в). Их подъём производится с помощью тяжёлых балок с захватными крюками или петлями. При необходимости быстро освободить пролёт при прохождении паводка можно установить и деревянный сегментный затвор с дощатой обшивкой. В этом случае опорные части из металла располагают на уровне подпёртого горизонта, а радиус затвора можно принять около $1,35H$ (H – напор на гребне водослива).

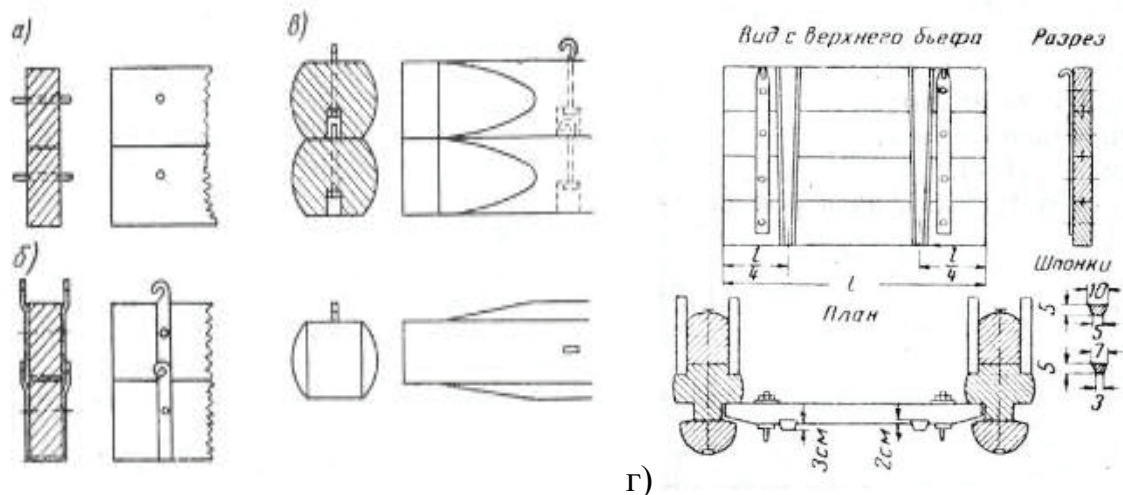


Рис. 4.40. Деревянные приспособления для перекрытия отверстий [41]: шандоры (а, б – дощатые; в – брусчатые) и затворы (г)

когда щиты по высоте выполняют в два ряда. Среди водосливных деревянных плотин можно также выделить ряжевую плотину на прочных грунтах, каркасную плотину из американских ряжей и каменно-набросные плотины с ряжевými или плетневыми стенками (рис. 4.41).

При наличии на месте строительства мельничной плотины достаточного количества камня (в карьере, при разборке существующих построек и т.п.) нужного качества (известняк, гранит, песчаник и т.д.) может быть целесообразна постройка из него **каменно-земляной и каменно-набросной** плотины [7], либо **плотины из каменной кладки**. В последнем случае будет рационально выполнить флютбет, устои и бычки из камня на цементном растворе, а затворы из дерева. Каменные и бетонные флютбеты могут устраиваться как на свайном основании, так и без него (рис. 4.42 – 4.44).

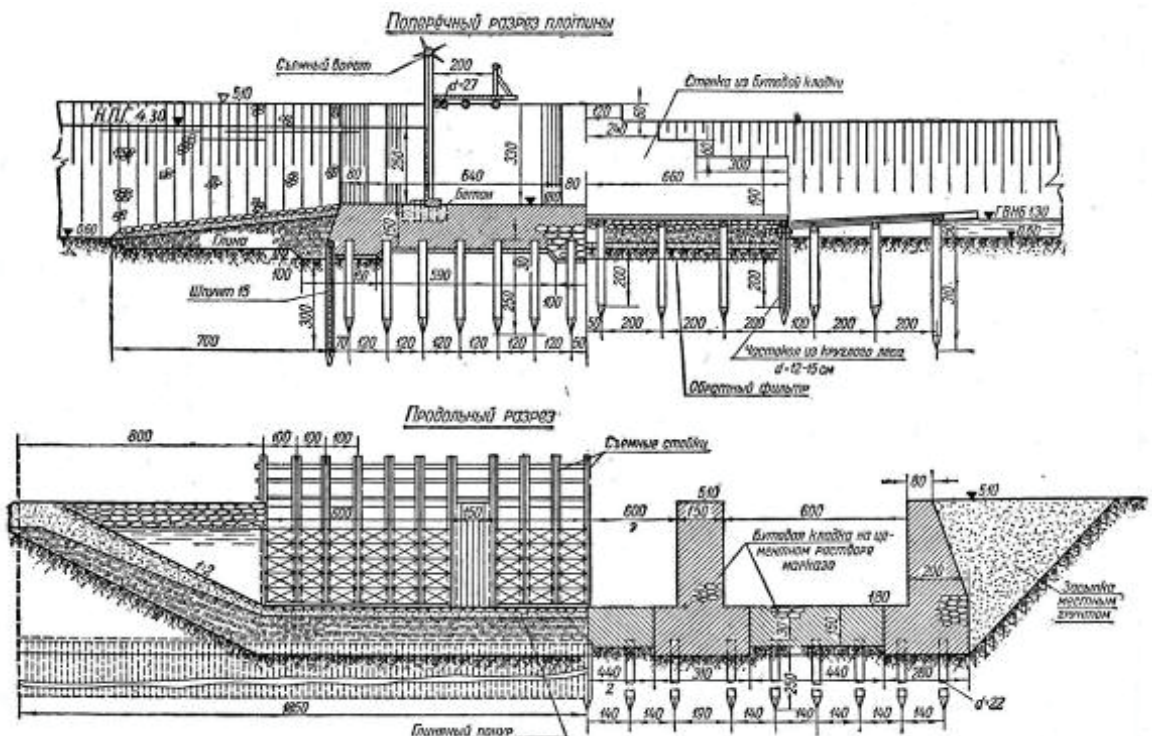


Рис. 4.42. Каменная разборчатая плотина со съёмными стойками на свайном основании (типовой проект Гидроспецпроекта, 1936 г.)

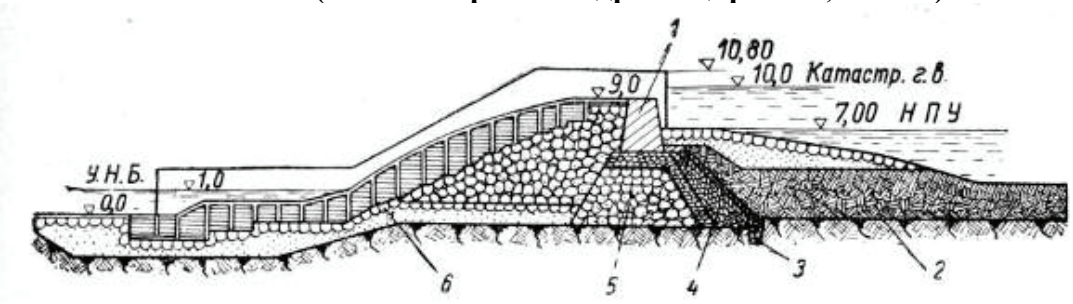


Рис. 4.43. Водосливная плотина из каменной наброски: 1 – бутобетон; 2 – суглинок; 3 – бетонный зуб; 4 – обратный фильтр; 5 – сухая кладка; 6 – пески с валунами [38]