

621.22

С-59

4

11

В книге содержится описание и рабочие чертежи деревянной пропеллерной турбины, предложенной проф. Д. Я. Соколовым и разработанной Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидротехники и мелиорации.

Для условий равнинных рек, позволяющих получать относительно небольшие напоры на гидроустановках, наиболее подходящим типом гидравлического двигателя является быстроходный тип турбины.

Особенность деревянной пропеллерной турбины заключается в том, что её легко можно изготовить силами колхозов из местных материалов—дерева, с малой затратой металла, причём для её изготовления не требуется сложного оборудования и квалифицированной рабочей силы.

Будучи изготовленной для конкретных условий работы, такая турбина более полно использует энергию водисточника.

Деревянные пропеллерные турбины, выполненные по проекту ВНИИГиМ и работающие на ряде гидроустановок, полностью себя оправдали.

Все замечания о книге, а также сведения о работе построенных установок с деревянной пропеллерной турбиной просим сообщать по адресу: Москва, 8, Нижняя дорога, 19, ВНИИГиМ.

3063

✓ 0

МУЗЕЙ
НАУКОВА
БИБЛИОТЕКА

1. КОНСТРУКЦИЯ ДЕРЕВЯННОЙ ПРОПЕЛЛЕРНОЙ ТУРБИНЫ СИСТЕМЫ ПРОФ. Д. Я. СОКОЛОВА

Деревянная пропеллерная турбина изготавливается из отрезков досок длиной, равной диаметру ротора, и толщиной в 4—6 см, путём соответствующей срезки концов их. Ширина досок при-

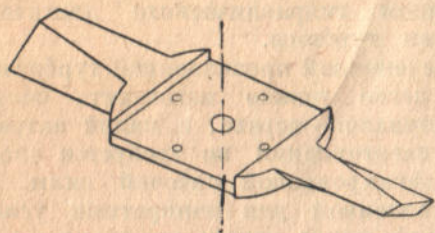


Рис. 1. Отдельный пропеллер турбины.

нимается равной 15—30 см и зависит от диаметра рабочего колеса (рис. 1).

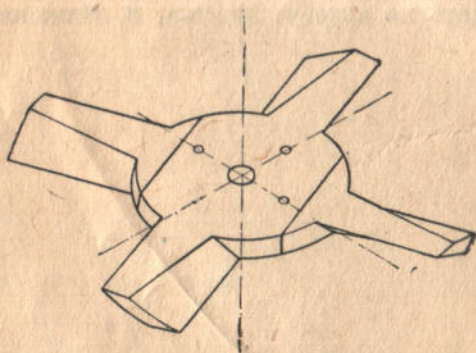


Рис. 2. Крестовина.

Для получения четырёхлопастной турбины такие отдельные пропеллеры соединяют накрест по два путём взаимной врезки в полдоски (рис. 2) и затем эти крестовины накладывают одну

на другую, с поворотом относительно друг друга на некоторый постоянный угол, с таким расчётом, чтобы образовалась сплошная винтовая поверхность лопастей ротора (рис. 3). Число

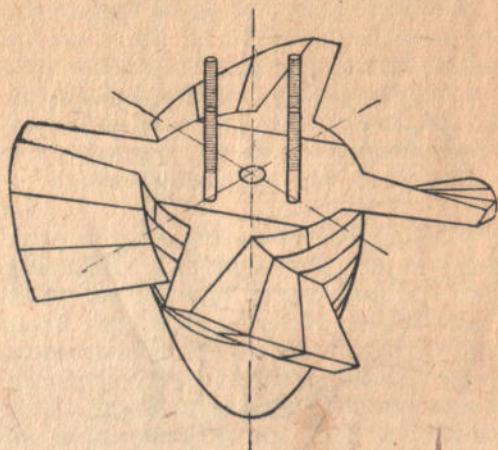


Рис. 3. Сборка ротора.

четырёхлопастных пропеллеров для сборки ротора турбины зависит от толщины досок, применяемых для изготовления пропеллеров, и высоты ротора.

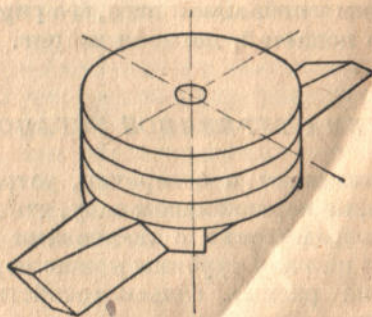


Рис. 4. Верхняя часть турбины.

Сверху полученного таким образом ротора накладывают два-три деревянных кружка (рис. 4) и снизу ротора один кружок диаметром, равным диаметру втулки ротора, т. е. его цилиндрической нерабочей части.

Процеллеры и кружки стягивают четырьмя болтами, а через центр ротора пропускают металлический вал, головку которого внизу ротора покрывают специальным деревянным обтекателем для плавности выхода воды во всасывающую трубу.

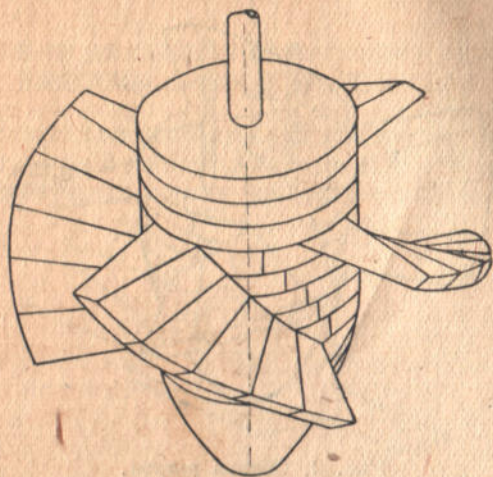


Рис. 5. Рабочее колесо (ротор) деревянной пропеллерной турбины.

Обтекатель скрепляют с турбиной тремя металлическими планками. Ротор турбины в собранном виде, без скруглений входных и выходных рёбер лопастей, показан на рис. 5.

2. СХЕМА ТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ

Турбину устанавливают в отверстии, устраиваемом в полу турбинной камеры, на вертикальном валу, что даёт возможность соединять её непосредственно с жерновами мельниц. Через специальный шкив на валу турбины можно передавать энергию непосредственно на разные сельскохозяйственные машины, а также и на электрогенератор.

Опорный подшипник турбины может быть расположен или выше уровня воды в камере—на опорных балках верхнего перекрытия (пола здания), или ниже уровня воды—на крышке турбины. Для предотвращения вибрации ротора в обоих случаях необходим ещё направляющий подшипник, устанавливаемый непосредственно над ротором турбины.

Для установки направляющего или опорного подшипников необходимо устройство специального перекрытия (крышки) над турбиной, и для поступления воды в турбину оставляют только щель по цилиндрической поверхности, опоясывающей турбину.

С целью достижения более или менее плавного (безударного) вступления потока воды на лопатки рабочего колеса, по всей длине щели устанавливают деревянные направляющие лопатки обтекаемой формы, служащие одновременно и опорами для укрепления на них верхней круговой крышки, сквозь которую проходит вал турбины. В связи с этим направляющие лопатки делают более массивными, чем это требуется для направления потока.

Регулирование расхода воды в турбине осуществляют посредством впускного щитка в лотке, установленного перед турбинной камерой. Щиток желательно устанавливать непосредственно перед турбинной камерой, с таким расчётом, чтобы подъём щитка мог осуществляться из здания гидроустановки.

Турбину обычно устанавливают выше уровня нижнего бьефа, что делает удобным осмотр турбины при эксплуатации. При закрытии впускного щитка вода из турбинной камеры вытекает через турбину, и благодаря этому становится возможным осмотр и ремонт турбинной установки. Кроме того, такое расположение турбины приводит к сокращению глубины турбинной камеры и укорочению вала. Расположение турбины выше уровня отводящего канала требует установки всасывающей трубы, которая примыкает к отверстию в дне турбинной камеры и позволяет использовать высоту падения воды от турбины до нижнего уровня воды. Для уменьшения скорости выхода воды из всасывающей трубы последнюю следует делать расширяющейся книзу. При изготовлении всасывающей трубы из дерева, её целесообразно устраивать в виде усечённого конуса. Так как во всасывающей трубе при протекании воды будет происходить разрежение, то, для предотвращения засасывания в неё воздуха, труба должна быть тщательно выполнена и укреплена обручами из полосового железа. С той же целью труба должна быть хорошо прижата к полу турбинной камеры, а нижний конец её погружён в воду на 30—50 см.

3. ПРИМЕНЕНИЕ ДЕРЕВЯННОЙ ТУРБИНЫ

Данная конструкция ротора турбины была испытана в лаборатории Московского гидромелиоративного института (в 1935—1936 гг.) при быстроходности $n_s = 300$ и при диаметре ротора в 305 мм. Испытания проводились без направляющего аппарата.

В этих условиях коэффициент полезного действия турбины достигал 0,72, что для натурального колеса среднего размера (800 мм) позволит иметь к. п. д. около 0,78.

В 1941 г. данная конструкция турбины была осуществлена по проекту Удмуртской конторы Сельэлектро на целом ряде мелких гидроустановок. В 1942 г. в Удмуртской АССР было установлено 12 таких турбин и изготовлялось еще 11. При этом стоимость ротора турбины составляла 120 рублей.

Первая турбина данной конструкции проработала на действующей гидроустановке уже больше года и находится в хорошем состоянии. Обследование, проведенное ВНИИГиМ в октябре 1942 г. одной из установленных турбин данной конструкции (Нижне-Кватчинская гидроустановка на р. Вале), показало, что к. п. д. турбинной установки достигает 0,79, а производительность жернова на мельнице при работе с турбиной повысилась в $3\frac{1}{2}$ раза по сравнению с производительностью жернова, работающего от среднебойного колеса с теми же напором и расходом воды.

Деревянная пропеллерная турбина может быть применена для расходов воды в пределах от 300 до 1 500 л/сек. и для напора (разности отметок верхнего и нижнего уровней у гидростанции) до 4 м. Наименьшая величина напора определяется экономической целесообразностью гидроустановки и может быть принята ориентировочно равной 1,5 м.

Указанные пределы основных расчётных величин гидроустановки—расхода и напора воды, охватывают почти все мельчайшие гидроустановки (мощностью до 50—60 л. с.) в равнинных местностях нашего Союза.

Учитывая, что преобладающей мощностью мелких гидроустановок являются мощности в пределах 10÷35 квт, можно считать, что предлагаемая конструкция турбины окажется в этих случаях наиболее приемлемой.

При больших мощностях гидроустановок, свыше 60 л. с., данная турбина также может быть применена, но при условии разбивки полной мощности установки на несколько агрегатов, работающих раздельно.

Поскольку сельское хозяйство требует быстрого и дешёвого осуществления гидроустановок, в первую очередь следует обратить внимание на восстановление бездействующих водяных мельниц (около 40 000 мельниц по Союзу); затем следует использовать перепады на выстроенных колхозных водоёмах (по Союзу около 16 000 водоёмов), а в орошаемых районах следует использовать мощности существующих перепадов на ирригационной сети. Возможно также относительно быстрое осуществление гидроустановок на реках со значительными межениными расхо-

дами воды и с достаточно большими уклонами горизонтов воды, путём устройства гидроустановок с подводными каналами при бесплотинном водозаборе.

Возможные схемы использования энергии от гидроустановок в сельском хозяйстве могут быть следующие:

1. Мельничная гидроустановка при непосредственном соединении жернова на одном валу с турбиной или через передачу. Последнее может оказаться более целесообразным при переоборудовании существующих мельниц, сокращая объём работ. Соединение жернова на одном валу с турбиной даёт более компактное здание гидроустановки и более высокий коэффициент использования водной энергии.

2. Гидроустановка с передачей энергии на трансмиссию, к которой можно присоединять различные сельскохозяйственные машины.

3. Мельничная гидроустановка с дополнительным приводом для передачи энергии сельскохозяйственным машинам.

4. Мельничная гидроустановка с присоединением электрогенератора для освещения колхоза. Этот тип установки позволяет значительно повысить использование энергии водного источника. Одна мельничная установка с водяным колесом обычно использует не свыше 10% всей энергии потока.

5. Гидроэлектрическая установка с дополнительной передачей энергии на промежуточный вал для присоединения к нему различных сельскохозяйственных машин и жернова.

6. Гидросиловая водоподъёмная установка для водоснабжения или орошения, где водоподъёмная машина (насос) соединена с турбиной посредством механической передачи.

4. ВЫБОР МОЩНОСТИ

Выбор мощности турбины и её размеров зависит от расхода потока и от напора воды; поэтому надо прежде всего установить расход и напор воды.

Расход воды, т. е. количество воды, протекающей через какое-либо поперечное сечение реки в единицу времени, выражается или в кубических метрах или в литрах в секунду.

Расход воды в реке изменяется из года в год в зависимости от количества осадков и других причин, а также изменяется по времени года. Например, весной расход реки больше, чем летом, в межень. Но как бы ни изменялся расход реки, всегда можно установить какой-то средний расход, который бывает в течение большей части года. Вот такой средний расход и принимается в расчёт при выборе турбин.

Определить расход воды в реке можно следующим образом.

Если на реке имеется плотина и лоток, через который проходит весь расход воды, то в конце этого лотка, поперёк его, устанавливают водослив, т. е. стенку в две доски с острой кромкой у верхней доски, как показано на рис. 6.

Пользуясь ниже приведённой вспомогательной таблицей, можно по водосливу определить расход реки. Для этого надо знать ширину водослива B и высоту переливающегося слоя

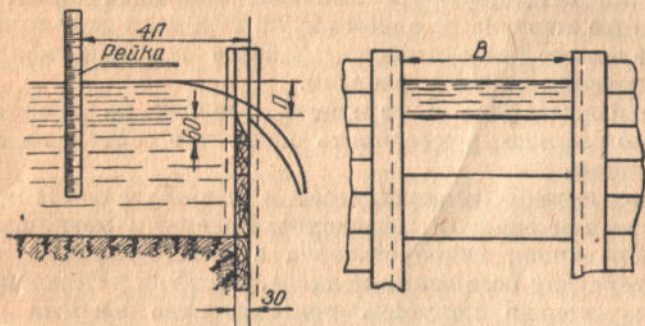


Рис. 6. Водослив для замера расхода воды

воды Π . Для замера величины Π к стенке лотка на расстоянии от водослива, равном примерно $4 \times \Pi$, прибавляют реечку и по ней при помощи уровня делают отчёты уровня воды в лотке и уровня острой кромки водослива. Разность отсчётов даёт величину Π .

Ниже указан расход воды Q в л/сек. через водослив шириной, равной 1 м для различных значений высоты слоя воды. Если ширина водослива не равна 1 м, то полученный по таблице расход надо умножить на величину B в метрах.

Высота слоя воды Π (в см) . .	1	2	3	5	10	15	20	25	30	40	50
Расход воды Q (в л/сек.)	1,9	5,3	9,7	20,7	58	107	166	223	309	482	685

Для замера расхода воды в реке, не имеющей плотины и лотка, выбирается на ней прямолинейный участок длиной в 10—15 м. Площадь живого сечения реки в этом месте в кв. м, помноженная на скорость потока воды в м/сек., и даёт расход воды в м³/сек.

Площадь живого сечения реки определяется путём промера глубины в нескольких местах по ширине реки (в 4—5) и умножением вычисленной средней из них на ширину реки в том же самом месте.

Скорость потока воды определяется поплавком. Для этого на прямолинейном участке реки намечают два створа (выше и ниже того места, где определялась площадь живого сечения) на определённом расстоянии друг от друга. Выше верхнего створа по течению бросают какой-либо поплавок и по секундной стрелке часов определяют время прохождения поплавка между намеченными створами. Такой замер делают 5—10 раз и берут среднее время. Разделив расстояние между створами в метрах на среднее время прохождения поплавка в секундах, получим скорость потока воды на поверхности в м/сек. Для получения средней скорости потока в сечении, полученную среднюю скорость поплавка уменьшают на 20%.

Напор H , т. е. вертикальное расстояние между уровнями воды выше и ниже плотины в метрах, можно измерить при помощи рейки, уровня и рулетки.

По полученным значениям расхода и напора воды вычисляется мощность турбины по следующей формуле:

$$N = 10 \times Q \times H \text{ лощ. сил.}$$

Если, например, расход воды равен $Q = 0,4 \text{ м}^3/\text{сек.}$, а напор $H = 4,0 \text{ м}$, то мощность турбины будет:

$$N = 10 \times 0,4 \times 4,0 = 16 \text{ л. с.}$$

Следует иметь в виду, что турбину можно установить на большую мощность, если при плотине имеется водохранилище, в котором можно накапливать воду ночью, когда турбина не работает. В другое время суток можно расход воды через турбину увеличить за счёт расходования накопленной воды в водохранилище.

П р и м е р. При расходе воды в речке $0,4 \text{ м}^3/\text{сек.}$ и при напоре $4,0 \text{ м}$, гидроустановка работает только 12 часов в сутки. Следовательно, в течение остальных 12 часов воду можно скапливать в водохранилище и затем расходовать её в рабочее время также в течение 12 часов, т. е. к $0,4 \text{ м}^3/\text{сек.}$, имеющимся в речке, можно будет прибавлять дополнительно ещё $0,4 \text{ м}^3/\text{сек.}$ и тогда можно будет иметь расход воды до $0,8 \text{ м}^3/\text{сек.}$, на который и следует подобрать мощность турбины. При этом следует учесть колебания уровня воды в водохранилище. Допустим, при полной сработке накопленной воды в водохранилище уровень снижается на 30 см.

Тогда напор на установке будет колебаться от 4,0 до 3,7 м, а средний напор будет равен 3,85 м.

Мощность, на которую следует устанавливать турбину в данном случае, будет:

$$N = 10 \times 0,8 \times 3,85 = 30,8 \text{ л. с.} \approx 31 \text{ л. с.}$$

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ТУРБИНЫ

На основании расчёта турбины устанавливают все основные её размеры, а также размеры шаблона для изготовления отдельных пропеллеров, из которых затем и собирается рабочее колесо.

Для изготовления турбины при принятых напоре и расходе воды необходимо установить, в зависимости от заданных условий работы, следующие основные её размеры:

- наружный диаметр рабочего колеса D ;
- диаметр втулки (нерабочей части) колеса d ;
- угол наклона рабочих лопастей β_D на концах их и у втулки колеса β_d ;
- высоту рабочего колеса в пределах лопастей h .

Все эти размеры были подсчитаны для ряда условий и сведены в таблице, облегчающей расчёт.

Ниже приводится таблица 1 для выбора мощности и диаметра рабочего колеса D для напоров от 1,5 до 3,0 м и при расходах воды от 300 до 1 500 л/сек., при числах оборотов $n = 150$ и 200 об/мин., что отвечает требованиям мельничных жерновов при соединении их на одном валу с турбиной. При необходимости получить большее число оборотов турбины размеры последней могут быть установлены путём расчёта на основе приводимого ниже примера.

В таблице 1 приводится также необходимый диаметр металлического (сплошного) вала.

Для того чтобы из досок заданной длины (равной диаметру ротора) сделать пропеллер соответствующей формы, необходимо на верхней и нижней сторонах досок, а также на торцах их произвести предварительную разметку, которую удобно и быстро можно осуществить посредством плоских шаблонов (рис. 6-а), вырезаемых из плотной бумаги. На шаблонах наносят необходимые линии прощлов и выемок как с верхней, так и с нижней стороны досок. Накладывая такой шаблон сначала на одну, потом на другую сторону доски, наносят необходимые точки, которые затем и соединяют соответствующими линиями, как это подробно указано ниже, в технологии производства турбины.

ВЫБОР РАЗМЕРОВ ТУРБИНЫ

H	Q = 300 D = 500 n = 200		Q = 500 D = 600 n = 200		Q = 800 D = 800 n = 150		Q = 1 000 D = 850 n = 150		Q = 1 200 D = 970 n = 150		Q = 1 500 D = 970 n = 150							
	P	d _г	P	d _г	P	d _г	P	d _г	P	d _г	P	d _г						
1,5	4,5	36	—	7,5	56	3	12	42	5	15	48	7	18	48	9	20,5	50	11
2,0	6	36	1	10	42	3	16	48	5	20	48	7	24	50	9	30	55	11
2,5	7,5	36	1	12,5	42	3	20	48	5	25	56	7	30	55	9	37,5	60	11
3,0	9	36	2	15	42	4	24	50	6	30	55	8	36	60	10	45	65	12

Обозначения: H—напор воды (в м); Q—расход воды (в л/сек.); D—диаметр ротора (в мм); n—число оборотов турбины в минуту; P—мощность турбины (в л. с.); d_г—диаметр вала (в мм).

Для каждого случая, приведённого в таблице 1, должен быть свой шаблон, но, учитывая незначительную иногда разницу в углах наклона лопастей при одинаковом диаметре ротора, было произведено объединение шаблонов для ряда турбин с близкими углами β . Количество шаблонов оказалось возможным ограничить двенадцатью. В таблице 1 приводится для каждого случая, т. е. для данного Q , H и n , соответствующий номер шаблона.

При изготовлении рабочего колеса по данному номеру шаблона остальные его необходимые размеры d и β получатся сами собой. Размеры основных частей шаблонов для пропеллеров

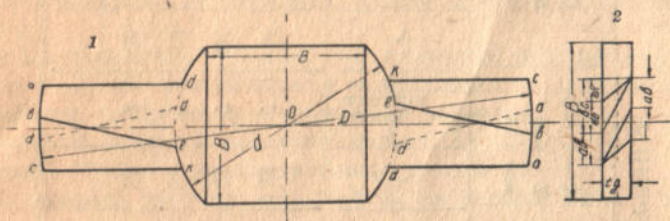


Рис. 6а. Картонный шаблон (1); торец пропеллера (2).

приведены в таблице 2. При этом толщина пропеллеров была принята для всех шаблонов в 4,5 см, имея в виду стандартную толщину досок в 5 см.

Толщина лопастей на концах пропеллеров принята в 2,0 см. Соотношение диаметра втулки d и диаметра рабочего колеса D принято в пределах 0,44—0,45. Ширина досок для пропеллеров B принята равной 0,71 d по условиям конструирования ротора.

Необходимое количество крестовин (парных пропеллеров) для сборки одного ротора также указано в таблице 2.

При сборке ротора из указанного числа пропеллеров получится и необходимая его высота h , которая будет равна толщине отдельных пропеллеров (4,5 см), умноженной на число четырёхлопастных пропеллеров (крестовин).

Таким образом, таблицы 1 и 2 позволяют полностью запроектировать рабочее колесо турбины для заданных условий, т. е. для заданных расхода воды Q , напора H и числа оборотов n .

Пример. Сконструировать деревянную пропеллерную турбину при следующих заданных условиях:

расход воды $Q = 0,8$ м³/в сек.;

напор воды $H = 3,0$ м;

необходимое число оборотов турбины

$$n = 150 \text{ об/мин.}$$

РАЗМЕРЫ ШАБЛОНОВ ДЛЯ ГИДРОТУРБИНЫ

Наименование элементов	Номера шаблонов											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10.	11	12
Диаметр ротора D (в мм)	500	500	600	600	800	800	850	850	900	900	970	970
Диаметр втулки d (в мм)	220	220	270	270	360	360	380	380	400	400	430	430
Ширина доски (в см)	15,6	15,6	19,2	19,2	25,5	25,5	27,0	27,0	28,4	28,4	30,4	30,4
Ширина доски в конце шаблона (в см)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Проекция среза в конце лопасти (в см)	9,6	7,8	11,1	9,2	11,1	9,0	11,1	9,6	11,4	10,4	11,7	10,6
Проекция среза у втулки (в см)	4,2	3,4	5,0	4,1	5,0	4,0	5,0	4,3	5,1	4,6	5,2	4,7
Ширина доски у втулки (в см)	10,4	9,4	11,1	10,1	11,1	10,0	11,1	10,3	11,3	10,8	11,5	10,9
Количество слоёв (парных досок)	6—8	—	5—7	6—8	5—6	—	5—7	6	5—6	8—9	5—6	7—8

Примечание. Толщина досок принята стандартная—5,0 см; после стругки с двух сторон—4,5 см.

Коэффициент полезного действия турбины принимается равным $\eta = 0,75$.

Тогда мощность гидроустановки $N = 10 \times Q \times H = 24$ л. с.

Необходимая быстроходность рабочего колеса — n_s при установке одной турбины на мощность 24 л. с. будет:

$$n_s = \frac{n\sqrt{N}}{H\sqrt[4]{H}} = \frac{150\sqrt{24}}{3\sqrt[4]{3}} = 186.$$

Для дальнейших расчётов приняты следующие обозначения:

D — диаметр рабочего колеса (в м);

d — диаметр втулки рабочего колеса (в м);

V_1 — абсолютная (полная) скорость потока при входе на рабочее колесо (в м/сек.);

V_2 — абсолютная скорость потока при выходе с рабочего колеса (в м/сек.);

u — окружная скорость потока у концов лопаток рабочего колеса (в м/сек.);

V_m — проекции скоростей V_1 и V_2 на ось турбины (в м/сек.);

$V_{u1}V_{u2}$ — проекция скоростей V_1 и V_2 на направление скорости u (в м/сек.);

β_D, β_d — углы наклона лопастей на концах и у втулки:

$a = \frac{u}{V_m}$. Это отношение принято равным 3, как наиболее целесообразное.

$b = \frac{V_{u1}}{V_m}$. Отношение указанных скоростей определяется расчётом.

$m = \frac{d}{D}$. Отношение принято равным 0,447, как наиболее целесообразное.

По полученной выше быстроходности, равной 186, получаем соотношение скоростей: $\frac{V_{u1}}{V_m} = b$ из формулы:

$$n_s = 404 \sqrt[4]{\frac{\eta^5}{b^3}}$$

$$186 = 404 \sqrt[4]{\frac{0,75^5}{b^3}},$$

откуда: $b = 1,74$.

Далее определяем скорость V_m по формуле:

$$V_m = \sqrt{\frac{\eta \cdot g \cdot H}{ab}} = \sqrt{\frac{0,75 \cdot 9,81 \cdot 3,0}{3,0 \cdot 1,74}} = 2,06 \text{ м/сек.}$$

Тогда: $u = aV_m = 3 \cdot 2,06 = 6,18$ м/сек.

$$V_{u1} = bV_m = 1,74 \cdot 2,06 = 3,59 \text{ м/сек.}$$

Угол наклона лопастей на концах их β_D определится по формуле:

$$\operatorname{tg} \beta_D = \frac{V_m}{u - 0,5 \cdot V_{\text{из}}} = \frac{2,06}{6,18 - 0,5 \cdot 3,59} = 0,471.$$

Отсюда: $\beta_D = 25^\circ 10'$.

Угол наклона лопастей у втулки β_d , по условиям конструирования ротора, определится из соотношения:

$$\operatorname{tg} \beta_d = \frac{D}{d} \operatorname{tg} \beta_D = \frac{4}{0,447} \cdot 0,471 = 1,05.$$

Отсюда: $\beta_d = 46^\circ 30'$

Диаметр рабочего колеса определится по формуле:

$$D = \sqrt[3]{\frac{240 \cdot a}{\pi^2 (1 - m^2)}} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} = \sqrt[3]{\frac{240 \cdot 3}{3,14^2 (1 - 0,447^2)}} \cdot \sqrt[3]{\frac{0,8}{150}} = 4,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,8}{150}} = 0,79 \text{ м.}$$

(В таблице 1 произведено округление размера диаметра, и в ней значится $D = 800$ мм.)

Диаметр втулки ротора:

$d = m \cdot D = 0,447 \cdot 0,79 = 0,354$ (в таблице 1 значится: $d = 360$ мм).

Проверим число оборотов при данном диаметре $D = 0,79$ и окружной скорости $u = 6,18$ м/сек.

$$n = \frac{60 \cdot u}{\pi \cdot D} = \frac{60 \cdot 6,18}{3,14 \cdot 0,79} = 149 \approx 150 \text{ об/мин.}$$

(что и было принято при расчёте).

Имея расчётные значения наружного диаметра (D) и втулки (d) ротора, а также величину угла наклона лопасти на конце (β_D), можно запроектировать шаблон, по которому изготавливается ротор турбины.

По расчёту получено:

$$D = 0,79 \text{ м; } d = 0,354 \text{ м; } \beta_D = 25^\circ 10'.$$

Как было указано выше, для уменьшения числа номеров шаблонов, при составлении таблиц, произведено группирование близких расчётных величин и в данном случае принято:

$$D = 800 \text{ мм; } d = 360 \text{ мм; } \beta_D = 26^\circ 30'; \operatorname{tg} \beta_D = 0,499 \text{ и}$$

$\sin \beta_D = 0,446$, но вообще ротор может быть изготовлен и по расчётным величинам.

Ширину досок по условиям врезки отдельных пропеллеров при сборке крестовин следует брать равной:

$$B = \frac{d}{\sqrt{2}} = \frac{36}{1,41} = 25,5 \text{ см.}$$

Величина ab (рис. 6а) определится из необходимой толщины лопасти t_n в конце её:

$$t_n = ab \sin \beta_D.$$

Так как в наших расчётах β_D принимается в пределах $20-30^\circ$, то $\sin \beta_D = 0,34-0,5$, откуда получается ab в пределах $4-6$ см. Поэтому можно для всех случаев принять $ab = 5$ см.

Для нашего случая по расчёту получили бы:

$$ab = \frac{t_n}{\sin \beta_D} = \frac{2}{0,446} = 4,5 \text{ см. При } ab = 5 \text{ см,}$$

получим $t_n = 2,2$ см.

Величина среза (проекция bc) равна

$$bc = t_g \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \beta_D}$$

При $t_g = 4,5$ см, получим:

$$bc = \frac{4,5}{\operatorname{tg} \beta_D} = \frac{4,5}{0,499} = 9,0 \text{ см.}$$

При одинаковом шаблоне для всего ротора величины bc и ek должны быть пропорциональны диаметрам, т. е. $ek = bc \cdot \frac{d}{D}$. Так как по расчёту принято $\frac{d}{D} = 0,447$, то $ek = 0,447 bc = 0,447 \cdot 9,0 = 4,0$ см.

При выпиливании отдельных пропеллеров желательно, чтобы линии ad и ck были параллельны взаимно и параллельны волокнам древесины. Поэтому должно быть $de + ek \simeq ab + bc$, отсюда $de = ab + bc - ek = 5 + 9 - 4 = 10,0$ см.

Число слоёв (крестовин) получим из условия высоты ротора $h \simeq 0,3D = 0,3 \cdot 80 = 24$ см.

Откуда число слоёв:

$$k = \frac{h}{t_g} = \frac{24}{4,5} \simeq 5.$$

Таким образом, требуется изготовить 10 отдельных пропеллеров по приведённому расчёту шаблона.

Пропеллерные турбины не рекомендуется применять при быстроходностях ниже 250—300. Обычные пределы быстроходности пропеллерных турбин 300—700, и в этом случае высота ротора h в пределах лопастей примерно будет определяться соотношением:

$$h = (0,20 \div 0,35) D.$$

С уменьшением быстроходности высоту ротора следует увеличить.

Когда есть необходимость в применении пропеллерной деревянной турбины малой быстроходности (150—250), то высоту ротора приходится увеличивать до $(0,4—0,5) D$, и тогда турбина принимает вид винтового ротора.

Точное установление высоты ротора для данных условий (Q , H и n) может быть осуществлено испытанием турбины на месте. Разборная конструкция ротора допускает изменение рабочей высоты его путём замены крестовин кружками и обратно.

Высота ротора приближённо определяется по формуле:

$$h = 300 \frac{H}{n \cdot V_m} \sin^2 \beta_D.$$

6. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТУРБИНЫ

При изготовлении турбины необходимо придерживаться следующей последовательности.

1. По заданному напору и расходу воды устанавливают по таблице 1 (или путём расчёта по приведённым выше формулам): мощность N в л. с., диаметр рабочего колеса D в мм, диаметр вала d_b в мм и номер шаблона для изготовления отдельных пропеллеров.

По таблице 2 (или также путём расчёта по формулам) и по номеру шаблона, указанному в таблице 1 для данного случая, берутся все необходимые размеры, по которым на бумаге вычерчивают, а затем и вырезают шаблон.

2. Заготавливают необходимое количество (по таблице 2) гладко оструганных со всех сторон дощечек длиной, равной диаметру рабочего колеса, толщиной в 4,5 см и шириной, указанной в таблице 2.

3. Из каждой пары дощечек изготавливают крестовины путём взаимной врезки дощечек в полдоски, соблюдая строгое центрирование их, для чего на каждой дощечке следует прочертить оси, делящие пополам длину и ширину их.

4. На крестовинах очерчивают циркулем две окружности диаметрами D и d и производят срезку концов дощечек по окружности диаметра D .

5. По изготовленному шаблону на обеих дощечках всех крестовин производят накальвание точек a, b, d, e на одной стороне и точек c, k, a' и d' на другой стороне.

Затем прочёркивают на них линии ad, be на одной стороне и линии $a'd', ck$ на другой стороне. На торцах дощечек прочерчивают линии aa' и bc .

6. Производят пропиливание дощечек с обоих торцов, вдоль их, по линиям ad и ck , до окружности малого диаметра, и затём производят пропилил по малой окружности для удаления боковых частей, отпиленных вдоль дощечек.

7. Далее производят выпиливание косых плоскостей пропеллеров $сеек$ и $aa'dd'$, начиная с торца каждой дощечки, по линиям aa' и bc . При этом по мере прохождения пилы её полотно следует несколько поворачивать, следя за ходом пилы по прочерченным с обеих сторон линиям, так как пропиливаемая плоскость косая. Пропилил этот производят до малой окружности. После пропила стамеской удаляют наружные отпиленные части дощечек по малой окружности.

Работу по пропилу косой плоскости лопастей лучше производить вдвоём, чтобы иметь возможность наблюдать за ходом пилы по прочерченным линиям, поскольку это наиболее ответственная часть работы.

8. Выполненные пропеллеры соединяют в крестовины — четырёхлопастные пропеллеры, из которых и собирают рабочее колесо путём накладывания одного такого пропеллера на другой с некоторым поворотом вокруг оси ротора для получения ровной винтовой поверхности лопастей турбины. Сложенные таким образом пропеллеры временно скрепляют между собой шурупами или гвоздями.

9. Сверху пропеллеров накладывают три деревянных кружка из досок той же толщины, что и пропеллеры (или даже несколько толще), а снизу — один-два кружка, выпиленных по размерам малой окружности. Кружки также временно скрепляют с пропеллерами гвоздями или шурупами.

10. Производят просверливание отверстия необходимых размеров для вала в центре рабочего колеса и четырёх отверстий для стяжных болтов. Отверстия для болтов просверливают при вставленном вале для предотвращения смещения отдельных пропеллеров и кружков. Затем производят затяжку пропеллеров и кружков болтами с постановкой металлических фланцев сверху и снизу. При этом предварительно готовят гнёзда в верхнем и нижнем кружках для закладки фланцев.

11. После затяжки болтов вал временно вынимают и производят сглаживание поверхностей лопастей сверху и снизу, а также скругление входных и выходных граней лопастей.

12. Наконец, производят закрепление ротора на валу, изготовление и укрепление обтекателя, прикрывающего снизу головку вала. Обтекатель целесообразно изготовлять из цельного куска дерева.

7. ПРОЕКТ ГИДРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЖЕРНОВОГО ПОСТАВА С ПРИВОДОМ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МАШИНЫ

Для проекта приняты исходные данные, характерные для районов равнинной местности:

Напор (разность горизонтов нижнего и верхнего бьефов) 3 м.
Расчётный расход воды через турбину 800 л/сек.

Число оборотов турбины из условий работы мельничного постава диаметром 1068 мм на одном валу с турбиной принято равным $n = 150$ об/мин.

По этим данным из таблицы 1 находим размеры гидротурбины:

диаметр рабочего колеса (ротора) $D = 800$ мм.
число оборотов $n = 150$ об/мин.
мощность турбины $N = 24$ л. с.
диаметр вала $d_s = 50$ мм
шаблон № 6

Из таблицы 2 находим размеры шаблона № 6 и по нему изготавливаем ротор турбины, как было указано выше.

Вся гидроустановка намечается из следующих частей (рис. 7).

- 1) водозаборного сооружения;
- 2) лотка, подводящего воду от водозабора к гидротурбинной камере;
- 3) турбинной камеры, представляющей собой расширенную и углублённую часть лотка в конце его, где расположена гидротурбина;
- 4) турбинной установки, состоящей из: а) рабочего колеса (ротора) турбины, б) металлического вала с опорным кольцом и со шкивом, в) опорной части, г) направляющего аппарата, д) всасывающей трубы;
- 5) отводящего канала для отвода воды в основное русло реки за плотиной;
- 6) здания силовой установки.

Описание устройства отдельных частей гидроустановки

Водозабор расположен в верхнем откосе земляной части плотины и состоит из подводной земляной выемки с полукруглыми откосами, открьлков из пластин, служащих для перехода от трапециoidalной выемки к прямоугольному сечению лотка, и из головного участка с необходимыми устройствами водозабора (рис. 8).

Дно водозабора заложено на 80 см ниже уровня в верхнем бьефе, т. е. на отметке 9,20 м (условной). Подходная выемка устроена без крепления, так как скорости воды в ней равны 0,45 м/сек.

При входе в лоток устроен зуб из трёх пластин, поставленных на ребро, а перед зубом сделана отсыпка из мелкого камня для предотвращения вымыва грунта. Вход в лоток перекрыт деревянной решёткой из спиц сечением 4×4 см и с расстоянием между осями в 12 см. Решётка опирается на забральную стенку из пластин (или досок), заглублённую под уровень воды в верхнем бьефе на 10—15 см для предотвращения проникновения холодного воздуха в лоток и далее, в турбинную камеру, а также для задержки плавающих тел и льда. Непосредственно за забальной стенкой устроены пазы для шандор на случай опорожнения лотка с целью его осмотра и ремонта.

Лоток—деревянный, с горизонтальным полом, расположенным на 80 см ниже горизонта воды в верхнем бьефе. Условная отметка дна лотка 9,20 м. Ширина лотка в свету 1 м. Скорость течения воды в нём при принятых размерах равна 1 м/сек.

Лоток выполняют на двух прогонах из брёвен толщиной в 16 см путём укладывания поперечных балок через 1 м из брёвен толщиной в 16 см, окантованных с одной верхней стороны. По концам поперечных балок врезают шипом стойки, связанные попарно сверху насадками. В проезжей части лотка по насадкам укладывают накат из брёвен толщиной в 16 см. К стойкам со стороны грунта прибивают пластины по всей высоте лотка, воспринимающие давление грунта. Внутри лоток обшивают досками толщиной в 5 см, на высоту в 1 м, с уплотнением швов паклей, закладываемой в пазы досок. Пространство между двумя стенками — из пластин и из досок, забивают тем же грунтом, который идёт и на плотину. Для предотвращения фильтрации вдоль лотка производят засыпку с тщательным трамбованием пазух между стенками лотка и откосами выемки, а также между дном лотка и низом прогонов.

К лотку со стороны подхода к зданию мельницы примыкает подъездной мост, образуя подъездную площадку в 6 кв. м.

В здании мельницы лоток перекрывают щитком, предназначенным для регулирования расхода воды, поступающей в тур-

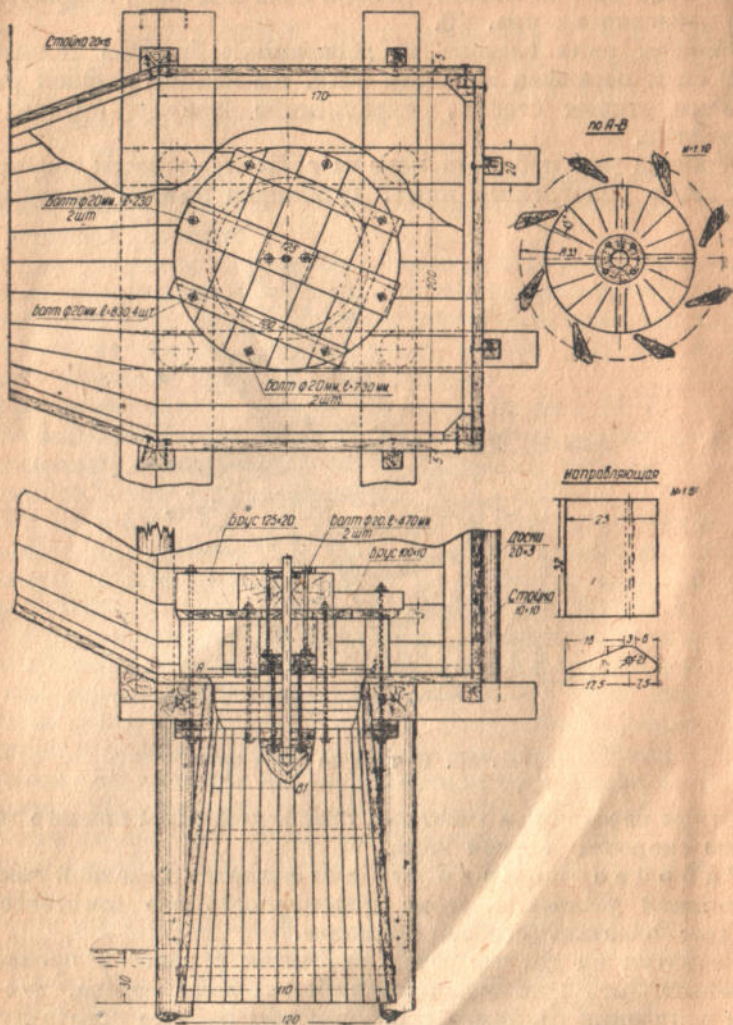


Рис. 9. Турбинная камера с всасывающей трубой.

бину. Щиток поднимается воротом, помещённым в верхнем этаже мельницы.

Турбинная камера имеет размер в плане $1,65 \times 2,0$ м, с высотой слоя воды 1,5 м (рис. 9). Опорная рама тур-

бинной камеры покоится на четырёх сваях толщиной в 20 см, забитых в грунт доотказа, но не менее чем на 2 м. Отметка верха свай 8,35 м. Способ забивки свай обычный, с подмостей, как показано на рис. 10.

Опорная рама состоит из деревянных брусков толщиной в 20 см и посажена на шипы свай. По концам опорной рамы врезаны шипом стойки, скреплённые вверху брусчатыми насадками.

Обшивка дна и бортов камеры состоит из досок толщиной в 5 см, с уплотнением швов. Турбинная камера сопрягается



Рис. 10. Ручная забивка свай.

с лотком переходным участком, обеспечивающим плавное изменение скорости течения воды.

Рабочее колесо турбины является основной частью турбинной установки, и на тщательность его изготовления следует обратить особое внимание.

Несмотря на то, что ротор рассчитан с запасом прочности и может быть изготовлен из любой породы дерева, всё же для получения большего срока службы рабочее колесо лучше делать из твёрдой породы дерева—бука, дуба, карагача, а также выбирать относительно многолетние деревья и употреблять в дело древесину в воздушносухом состоянии. При нарезке отдельных досок для ротора надо избегать сучков. По окончании изготовления ротор рекомендуется пропитать горячей олифой.

Во всасывающей трубе ротор располагают таким образом, чтобы верхняя плоскость его лопастей была на 5—10 см ниже пола камеры.

Металлический вал диаметром в 50 мм имеет общую длину 3 445 мм. С одной стороны, внизу, вал имеет нарезку длиной в 580 мм, а с другой стороны заканчивается гайкой для соединения с веретеном жернового постава, спиленным на квадрат. В средней части вал имеет опорное кольцо, которое может быть укреплено сваркой, шурупами или поковкой вала с образованием запечиков (рис. 11). Выбор способа крепления зависит от местных условий.

Выше опорного кольца вал имеет шпоночную канавку для крепления шпонкой металлического шкива диаметром в 1 000 мм и шириной в 150 мм. Такой шкив может быть подобран из деталей старых сельскохозяйственных машин или же заменён более широким деревянным шкивом.

Крепление вала с ротором показано на рис. 11. 1

Во избежание вибрации ротора, что может вызвать разрушение лопастей, вал должен быть ровным и отверстие для него в роторе строго центрировано.

Опорное устройство. Под опорное кольцо (по проекту на отметке 9,05 м) вставлен шарикоподшипник. Диаметр подшипника подбирают по диаметру вала. Подшипник утоплен в опорный брус сечением в 20×20 см и длиной в 125 см, расположенный на крышке направляющего аппарата. Под крышкой направляющего аппарата расположена цилиндрическая деревянная болванка высотой в 20 см и диаметром, равным диаметру втулки ротора. Болванка поджата двумя болтами к крышке; назначение этой болванки двойное: с одной стороны, она является направляющим подшипником, а с другой стороны, обеспечивает плавное обтекание верха ротора.

Выше шкива вал также имеет направляющий подшипник, закреплённый между двумя балками в междуэтажном перекрытии.

Направляющий аппарат состоит из восьми направляющих стоек (лопаток) высотой в 32 см, утопленных на 2 см в пол турбинной камеры. Стойки выпиливают из досок толщиной в 7 см и шириной в 25 см, так, как показано на рис. 9.

Направляющие лопатки располагают вокруг отверстия в дне камеры с таким расчётом, чтобы концы их не выступали за края данного отверстия. Оси лопаток опираются на брусья опорной рамы. Направляющие стойки покрыты сверху круглой крышкой диаметром в 120 см, собранной из досок толщиной в 5 см. Находящаяся в турбинной камере вода попадает на рабочее

колесо только через отверстия между направляющими стойками и, обтекая их, получает вращение, соответствующее вращению ротора.

В с а с ы в а ю щ а я т р у б а (рис. 12) имеет вид бочки без дна, расширяющейся книзу. Общая длина всасывающей трубы принята равной 1,75 м. Верхний диаметр трубы равен 82 см, т. е. на 2 см больше диаметра ротора, для обеспечения вращения ротора без зацепления. При этом входная скорость воды во всасывающую трубу равна $v_1 = 1,52$ м/сек. Нижний (выходной) диаметр всасывающей трубы равен 1,10 м, а выходная скорость воды равна $v_2 = 0,8$ м/сек.

Для предотвращения прорыва воздуха во всасывающую трубу конец её опущен ниже уровня нижнего бьефа на 30 см.

Так как при работе турбины внутри всасывающей трубы образуется разрежение, то труба должна быть сделана с плотной притёской отдельных клёпок; материал досок должен быть без сучков, и сопряжение трубы с полом турбинной камеры должно быть непроницаемым для воздуха. Для этой цели сверху всасывающей трубы надет деревянный хомут, к которому гвоздями пришиты клёпки всасывающей трубы. Этим хомутом труба подтягивается к полу турбинной камеры с помощью восьми болтов диаметром в 20 мм. Между стенками отверстия в полу камеры и верхним концом трубы сделано уплотнение (в виде отрезков тесменного ремня, холщёвой ветоши и т. п.).

Поджимающие трубу болты проходят через опорную раму, пол камеры, направляющие лопатки и оканчиваются сверху крышки направляющего аппарата.

Для предотвращения вибрации труба прикреплена к сваям двумя схватками выше уровня воды в нижнем бьефе.

При установке всасывающей трубы необходимо придерживаться такой последовательности.

Сначала забивают сваи и после их срезки по отметке 8,35 м вырезают шипы. Одновременно подготавливают раму и производят её укрепление на сваях. По заданным размерам изготавливают всасывающую трубу, на неё надевают деревянный хомут с последующим креплением его к трубе гвоздями. Сняв со свай пригнанную опорную раму, надо поставить всасывающую трубу так, чтобы отметка её верха была 8,45 м. После этого всасывающую трубу временно укрепляют на свайных схватках.

Вслед за постановкой опорной рамы надо произвести укладку уплотнения сверху всасывающей трубы и обшить досками пол турбинной камеры. В полу делают отверстие по внутренней окружности всасывающей трубы. Затем производят разметку положения направляющих лопаток, подготовку гнезд для них

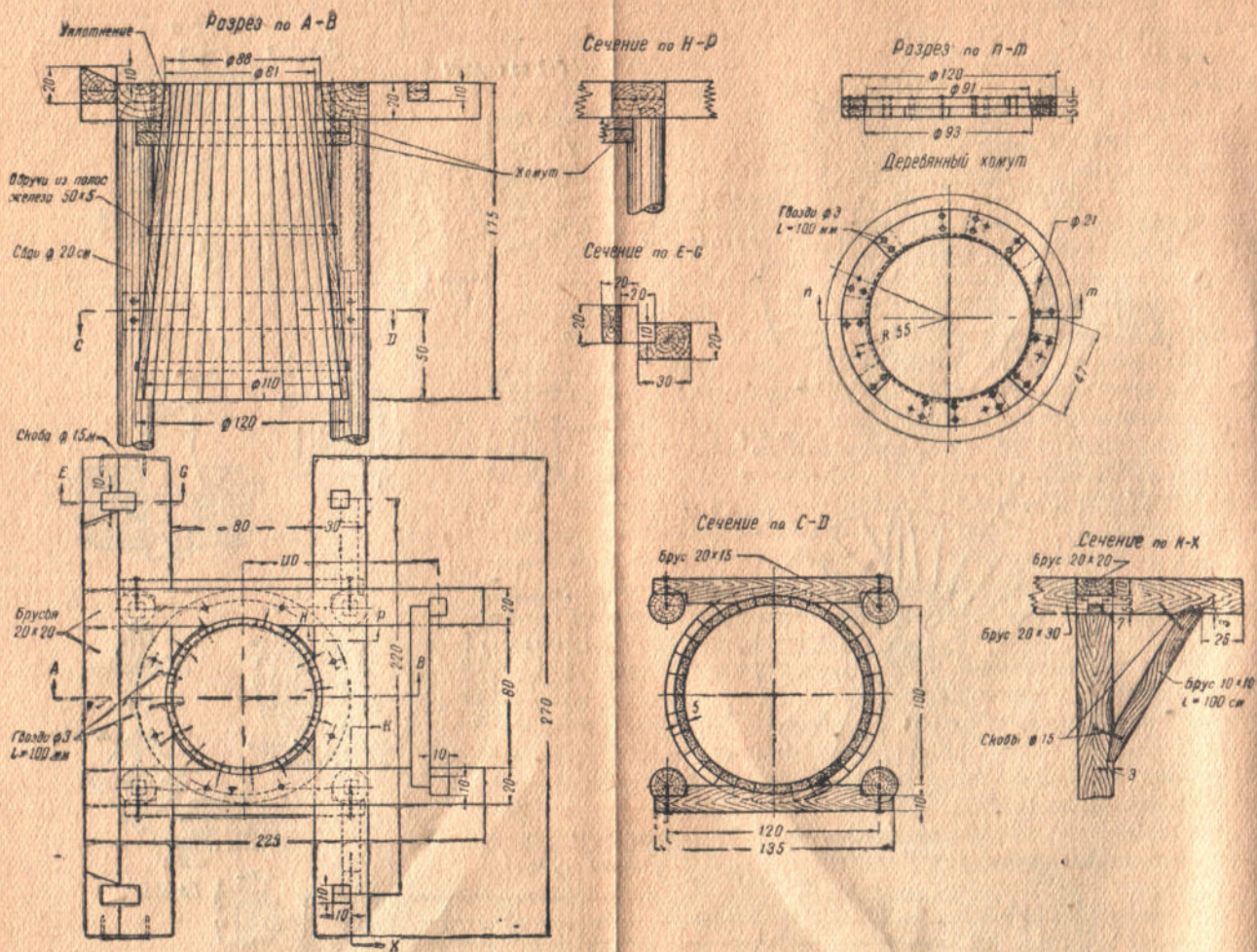


Рис. 12. Всасывающая труба с опорной рамой.

и установку. Постановку верхнего направляющего подшипника (над шкивом) следует производить после установки вала с ротором.

В заключение следует проверить центрирование турбины вращением.

Отводящий канал устроен в пойме реки и представляет земляное русло трапециoidalного сечения с полукруглыми откосами и шириной по дну в 1 м. В начале, по выходе из приёмной части, дно канала имеет отметку 6,40 м и далее (к руслу реки) имеет уклон 0,001.

Приёмная часть этого канала несколько расширена и заглублена до отметки 6,20 м для создания благоприятных условий выхода воды из всасывающей трубы и предотвращения размывов. Ввиду того, что выходные скорости из всасывающей трубы значительны и направлены нормально ко дну, что может вызвать размыв дна и оползание откосов приёмной части канала, по дну и откосам приёмной части делается каменная мостовая, а торцевой откос её укрепляют отсыпкой с обратным фильтром. Скорость в канале не превышает 0,70 м/сек.

Здание гидроустановки расположено у низового откоса плотины и примыкает к правому берегу поймы реки.

Стены здания выполнены из брёвен толщиной в 20 см и стандартной длины в 6,5 м, что даёт внутреннюю площадь пола в $5,8 \times 5,8 = 33,6$ кв. м.

Общая высота здания от земли до верхнего потолка 6,30 м; высота первого этажа 3,30 м; высота второго этажа 3,00 м.

В нижнем этаже расположена гидроустановка, в верхнем этаже — мельничное оборудование, что схематично показано на общем виде (рис. 7).

В зависимости от количества и вида машин, привод от турбины к сельскохозяйственным машинам может быть осуществлён через промежуточный вал, укреплённый на стене здания.

Для обслуживания гидроустановки в нижний этаж сделан лаз из второго этажа с лестницей, укреплённой на кронштейнах, и с рабочей площадки у турбинной камеры размером в $1,20 \times 1,25$ м.

Четыре окна размером в $1,20 \times 1,20$ м в верхнем этаже и два окна такого же размера в нижнем этаже дают достаточное освещение помещений.

Входная дверь размером в $1,2 \times 2,1$ м расположена в стене со стороны плотины.

Для подъезда к заданию сделана береговая присыпка к плотине, образующая площадку.

Здесь же, у правого берега плотины устроена площадка для сельскохозяйственных машин. Размер площадки определяется

на месте в зависимости от вида и типа машин, использующих энергию гидроустановки.

Для напоров, отличных от принятых в проекте (поскольку в таблице 1 напоры даются в пределах от 1,5 до 4,0), схема расположения турбинной камеры и всасывающей трубы остаётся

та же, но размеры их по высоте изменяются, примерно, в таких пределах:

а) при напоре $H =$

1,5 м слой воды в камере будет 60—80 см; длина всасывающей трубы будет 90—110 см, с заглублением её конца ниже уровня на 20 см;

б) при напоре $H =$

4 м слой воды в камере будет 180—200 см; длина всасывающей трубы будет 230—250 см, с заглублением конца трубы ниже уровня бьефа на 30 см.

Так как диаметр ротора для условий, указанных в таблице 1, изменяется лишь в пределах 50—90 см, то раз-

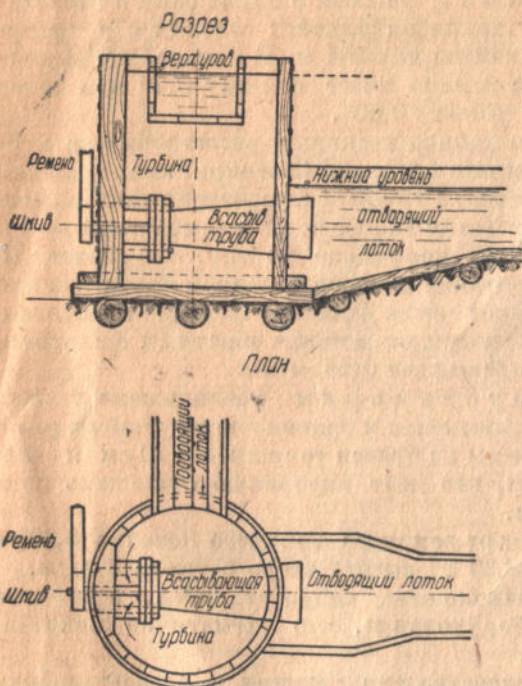


Рис. 13. Схема турбинной установки на горизонтальном валу.

меры камеры в плане во всех случаях можно брать такими, какие указаны в проекте.

При переделке водяного колеса на гидротурбинную установку вал турбины следует оканчивать несколько выше резервного шкива, и тогда ремённой передачей на шкив, укрепленный на веретене постава, обеспечивается передача мощности от турбины. Установка турбины при этом осуществляется или ниже по течению или сбоку водяного колеса.

Данная турбина может быть установлена также и на горизонтальном валу, что окажется весьма целесообразным при малых напорах и при гидроустановках в здании существующей мельницы.

Установка турбины на горизонтальном валу может обеспечить передачу энергии от турбины на существующий жерновой постав без больших переделок, значительно упрощает передачу на горизонтальный генератор и позволяет укоротить металлический вал.

Возможная схема турбинной установки на горизонтальном валу представлена на рис. 13.

8. УХОД ЗА ГИДРОТУРБИНОЙ УСТАНОВКОЙ

Для обеспечения надёжной и длительной работы гидроустановки, а также для безопасности механизмов, использующих энергию установки, необходима организация надлежащего ухода за ней в процессе эксплуатации.

Не касаясь здесь ухода за плотинами, правила эксплуатации которых излагаются в соответствующих руководствах по сельскохозяйственной гидротехнике, приведём здесь основные правила ухода непосредственно за самой гидротурбинной установкой.

1. Прежде всего необходимо наблюдать во время работы турбины за её скоростью вращения, чтобы предотвратить возможный разнос жерновов и порчу сельскохозяйственных машин при чрезмерном увеличении числа оборотов, что может получиться при внезапном сбросе нагрузки. Поэтому следует соблюдать такой порядок при отключении работающих жерновов или машин: прежде чем отключить работающую машину, следует предварительно уменьшить расход воды в турбине прикрытием впускного щитка до необходимых пределов, определяемых остающейся нагрузкой. Пределы прикрытия щитка устанавливаются опытом при вводе в эксплуатацию гидроустановки. При полном прекращении работы всех машин предварительно следует совсем прекратить подачу воды в турбинную камеру.

2. Для своевременного устранения дефектов в работе турбины необходим систематический осмотр её, особенно в начальный период эксплуатации. При этом следует обратить внимание на сохранение точного положения ротора в отверстии всасывающей трубы; задевание лопастей за стенки трубы может вызвать выкалывание их, нарушение герметичности всасывающей трубы, а также расшатывание всей опорной части турбины.

Обнаруженные дефекты должны быть немедленно устранены.

3. Для поддержания необходимого разрежения (вакуума) во всасывающей трубе следует производить особенно тщательный осмотр её—внешний и изнутри, устраняя обнаруживаемые

неплотности. Сильное засасывание воздуха через неплотности можно обнаружить на слух.

При пуске в эксплуатацию желательна проверка разрежения вакууметром.

4. В зимний период для предотвращения забивки турбины льдом не следует допускать лёд в лоток; для этой цели имеется забрало при входе в него. В случае сильных морозов внутреннее помещение обогревают временками, устанавливаемыми на земле возле отводящего канала. Это может предотвратить обмерзание стенок турбинной камеры снаружи при наличии некоторой утечки воды.

Ледяной покров снаружи при входе и при выходе воды из гидростанции следует скалывать, чтобы не повредить сооруженный при наблюдающемся колебании верхнего и нижнего уровней воды.

5. Следует наблюдать за решёткой при входе в лоток и чистить её периодически, особенно при прохождении паводков, когда поток несёт много мусора, и не допускать образования на решётке значительного перепада уровней воды. Перепад не должен превышать 5—7 см. При осмотре турбины следует также обращать внимание на засорённость направляющего аппарата и самой турбины, немедленно удаляя застрявший мусор, чем будут предотвращены излишние потери энергии.

6. При наблюдающейся утечке воды из лотка и турбинной камеры следует принимать меры к её устранению уплотнением слабых мест.

7. При выходе воды из всасывающей трубы в приёмную камеру отводящего канала не должно происходить разрушения дна и откосов, особенно возле свай и со стороны плотины. Все обнаруженные, даже небольшие нарушения мощения должны быть устранены немедленно, чтобы не допустить интенсивного вымыва грунта из-под одежды.

8. Следует обращать внимание на фильтрацию воды под лотком, наблюдая за выходом грунтовой воды возле лотка со стороны нижнего бьефа. В случае обнаружения выноса грунта из-под лотка следует прекратить работу гидростанции, опорожнить лоток, установить основной дефект, обусловивший проникание воды под лоток, и устранить его.
