

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В.А. Обязов, В.А. Хаустов, А.А. Батмазова,
В.С. Девятков

Учебное пособие по дисциплине
«Гидротехника и мелиорация»

для студентов очного и заочного обучения

Направление подготовки: 05.03.05 – Прикладная
гидрометеорология
Профиль подготовки: Прикладная гидрология
Квалификация: Бакалавр

Санкт-Петербург
РГГМУ
2024

УДК 626/627(075.8)

ББК 38.77

В.А. Обязов, В.А. Хаустов, А.А. Батмазова, В.С. Девятов

Учебное пособие по дисциплине «Гидротехника и мелиорация». – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2024. – 138 с.

Учебное пособие составлено в соответствии с программой дисциплины «Гидротехника и мелиорация». Даются рекомендации по освоению теоретической части курса и выполнению лабораторных работ.

УДК 626/627(075.8)

ББК 38.77

© В.А. Обязов, В.А. Хаустов, А.А. Батмазова, В.С. Девятов,
2024.

© Российский государственный гидрометеорологический
университет (РГГМУ), 2024.

Введение

Гидротехника и ее задачи. Все живое не может жить без воды. Люди использовали и будут использовать воду всегда, однако характер этого использования не остается неизменным. На ранних этапах развития человеческого общества вода предназначалась только для удовлетворения бытовых потребностей людей. Затем некоторые водные источники стали служить и средством сообщения. В те времена люди использовали воду исключительно там, где она была в естественных условиях, т. е. человек шел к воде, а не вода шла к человеку.

Постоянное увеличение населения земного шара и растущие в связи с этим потребности стали причиной осуществления территориального перераспределения водных ресурсов и изъятия большого количества воды из водных источников на нужды сельского хозяйства (для орошения), а затем и на промышленные нужды. Реализация этих потребностей оказалась возможной благодаря накопленным знаниям об окружающем нас мире и развитию технической мысли, позволившей спроектировать и претворить в жизнь конструкции сооружений, без которых удовлетворение запросов человечества в воде было бы невозможным.

Отрасль науки и техники, охватывающая вопросы использования, охраны водных ресурсов и борьбы с вредным действием вод при помощи инженерных сооружений называется *гидротехникой*. Инженерные сооружения, с помощью которых непосредственно осуществляются те или иные водохозяйственные мероприятия, называются гидротехническими.

Гидротехника как наука тесно связана с другими науками и во многом опирается на них. Так, для возведения гидротехнических сооружений крайне важно

знать законы, управляющие движением и покоем воды. А эти законы изучаются гидромеханикой и гидравликой.

Чтобы намечаемое водохозяйственное мероприятие, а также тип и размеры необходимого для его осуществления гидротехнического сооружения увязать с природными возможностями водного объекта и с уже существующим использованием этого объекта, необходимо произвести водохозяйственные расчеты, которые в значительной степени базируются на материалах гидрометрии и результатах наблюдений специализированных, в частности, воднобалансовых станций.

Поскольку гидротехнические сооружения являются инженерными сооружениями, то при их выполнении необходимо прибегать к таким наукам, как строительная механика, сопротивление материалов, механика грунтов, инженерная геология, строительные материалы и конструкции. Для размещения сооружений на местности или, как говорят, привязки их к местным условиям не обойтись без геодезии, топографии, геологии, гидрогеологии. К осуществлению отдельных гидротехнических проектов могут привлекаться такие науки, как электротехника, гидробиология, гидрохимия, климатология и др.

Отрасли водного хозяйства. При широкой дифференциации потребностей современного общества в воде использование водных ресурсов идет по ряду довольно четко определившихся направлений, среди которых обычно выделяют гидроэнергетику, водный транспорт, водные мелиорации, водоснабжение и канализацию, использование водных недр.

Перечисленные выше направления использования водных ресурсов образуют в нашей стране важную отрасль народного хозяйства, получившую название водное хозяйство. Таким образом, гидротехническое

строительство представляет техническую основу современного водного хозяйства. Важной особенностью водопользования в нашей стране является законодательно закреплённое в водных кодексах требование рационального и комплексного использования вод. Что конкретно кроется за этими часто встречающимися выражениями?

Рациональное использование — это всестороннее научно обоснованное использование вод, обеспечивающее оптимально полезный эффект для общества в текущий период и в течение принятого периода расчётной перспективы при обязательном соблюдении всех требований водного законодательства. Рациональное использование вод должно обеспечиваться при размещении, проектировании, строительстве и вводе в эксплуатацию новых и реконструированных предприятий, сооружений.

Комплексное использование — такое использование, при котором находят экономически оправданное применение все полезные свойства того или иного водного объекта для удовлетворения разнообразных потребностей всех заинтересованных водопользователей — населения и народного хозяйства. Комплексное использование вод имеет место при пользовании одним водным объектом несколькими водопользователями или одним водопользователем, но для нескольких целей. Например, строительство Днепрогэса им. В. И. Ленина преследовало цель не только получение электроэнергии, но и улучшение судоходства, которому до создания плотины и водохранилища препятствовали известные Днепровские пороги.

Задачи гидрологов в области гидротехники. Общеизвестно, что в нашей стране ведется планомерная подготовка специалистов для всех направлений

использования водных ресурсов. Среди выпускников соответствующих вузов и техникумов есть, конечно, и специалисты–гидротехники. Какова же при этом роль гидрологии и конкретно инженера–гидролога по отношению к гидротехнике?

Решающее значение гидрологии как науки в обслуживании водного хозяйства и гидротехники не вызывает сомнения. Нет ни одного направления использования вод, которое не являлось бы потребителем той или иной текущей гидрометеорологической информации, гидрологических прогнозов, различных гидрологических характеристик и не предъявляло бы к гидрологии своих требований. Для удовлетворения этих требований гидрологи должны достаточно хорошо и полно представлять особенности основных отраслей водного хозяйства и применяемых гидротехнических сооружений. Например, трудно представить себе, что инженер–гидролог сможет квалифицированно провести исследования руслового процесса на участке реки, где планируется строительство водозаборного сооружения, если он хотя бы в общих чертах не знает устройство водозабора и гидрологических условий, при которых обеспечивается нормальная работа сооружения.

Следовательно, во–первых, гидрологи обеспечивают проектирование гидротехнических сооружений исходной информацией, состав и объем этой информации тесно связаны с видом сооружения.

Во–вторых, гидрологи являются участниками эксплуатации различных водохозяйственных систем и расположенных на них гидротехнических сооружений. Здесь прежде всего имеется в виду оросительная и осушительная системы, количество которых все время увеличивается; одновременно растет и число работающих на них инженеров–гидрологов.

В–третьих, необходимо помнить, что с каждым годом на земле остается все меньше водных объектов с не нарушенным хозяйственной деятельностью гидрологическим режимом. Поэтому специалисты гидрологи должны иметь представление о том, как различные гидротехнические сооружения влияют на естественный режим водоисточников с тем, чтобы правильно учитывать указанное влияние при изучении таких водных объектов.

Наконец, в–четвертых, некоторые гидротехнические сооружения обладают водомерными свойствами. Такие сооружения могут и должны использоваться гидрологами для учета стока, что во многих случаях ведет к повышению точности получаемых результатов по сравнению с результатами, которые дают традиционные гидрологические способы измерения расходов воды.

1 Плотины

Классификация плотин

Плотины принято классифицировать по нескольким признакам.

По цели устройства. Различают две основные цели устройства плотины:

1) поднятие уровня воды в реке на некоторую высоту и регулирование этого уровня, что достигается строительством водоподпорной плотины. Устройство такой плотины бывает необходимо для создания напора на ГЭС, улучшения условий отбора воды из реки в различные водоприемники (например, для подачи на орошение), удовлетворения требований судоходства (путем увеличения глубин и уменьшения скоростей течения), обеспечения необходимого санитарного режима и т. п.;

2) создание хранилища воды, что достигается строительством водохранилищной плотины. Устройство таких плотин преследует цель получить водоем, необходимый, например, для рыбного хозяйства, устройства речного порта и т. п.

Во многих случаях одну и ту же плотину устраивают и для поднятия уровней воды в реке, и для образования водохранилища. Такая плотина будет и водоподъемной, и водохранилищной.

По возможности пропуска воды. В зависимости от пропуска воды через створ плотины различают:

1) глухие плотины, непосредственно через которые вода не пропускается; в этом случае при необходимости подачи воды в нижний бьеф ее пропуск осуществляется через так называемые береговые водопропускные сооружения или водопропускные сооружения, хотя и устроенные в теле плотины (или в ее основании), но имеющие весьма малую ширину (сравнительно с длиной плотины);

2) водосбросные плотины, через которые относительно широким фронтом осуществляется сброс воды в нижний бьеф.

Очень часто в состав речного гидроузла входит водосбросная плотина, сопрягающаяся с берегами посредством одной или двух глухих плотин.

По основному материалу. По этому признаку плотины могут быть подразделены на следующие типы:

1) из грунтовых строительных материалов строят: земляные плотины, основным материалом которых является земля, т. е. песчано-глинистый, песчаный и тому подобные грунты; плотины из каменной наброски и из сухой каменной кладки, в основном выполняемые из камня без применения вяжущих средств; каменно-земляные плотины, в которых применены земля и каменная

наброска; каменные плотины, выполняемые из каменной (бутовой) кладки на растворе, широко распространенные в прошлом; в настоящее время не строятся из-за невозможности комплексной механизации процесса кладки;

2) бетонные плотины;

3) железобетонные плотины, в которых в основном применен железобетон, хотя имеются и бетонные элементы;

4) деревянные плотины, имеющие обычно каменную или земляную загрузку;

5) плотины из прочих материалов (стали, синтетической пленки и т. д.) и комбинированные из различных материалов.

По высоте создаваемого напора. Принято выделять низконапорные плотины с напором менее 25 м, средненапорные — с напором от 25 до 75 м и высоконапорные — с напором более 75 м.

По характеру основания. Различают плотины, построенные на мягких грунтах (проницаемых, нескальных) и на скальных грунтах. От вида грунта основания зависит характер фильтрации воды под плотиной, способ расчета параметров фильтрационного потока и выбор средств борьбы с фильтрацией, а, в конечном счете, свойства грунта влияют на устойчивость плотины и возможность создания максимального напора.

Характерные уровни воды в верхнем бьефе плотины

В общем случае различают три характерных уровня воды в верхнем (подпертом) бьефе плотины (рис. 1.1): уровень мертвого объема (УМО), нормальный подпорный уровень (НПУ), форсированный подпорный уровень (ФПУ), который, как правило, возвышается над нормальным подпорным уровнем на высоту «а»,

называемую высотой форсировки уровня воды в верхнем бьефе.

Эти три уровня выделяют три призмы водохранилища, образованного плотиной: призму I называют мертвым объемом, призму II — полезным объемом, призму III — резервным объемом.

Мертвый объем является запасной емкостью, рассчитанной на постепенное заполнение наносами вследствие заиливания водохранилища, а также на прочие надобности: зимовку рыбы, обеспечение нормальных санитарных условий, пожаротушение и др. В зависимости от мертвого объема устанавливается отметка УМО.

Полезный объем — это объем водохранилища, который используется для различных хозяйственных (т. е. полезных) целей: подачи воды на орошение, увеличения в маловодный период расходов и уровней воды в нижнем бьефе, аккумуляции паводков для борьбы с наводнениями и т. п.

Необходимый полезный объем и отметка НПУ, которая определяет этот объем, устанавливаются с учетом различных экономических и хозяйственных соображений. При проектировании плотины отметка НПУ считается заданной.

Резервный объем, располагающийся между НПУ и ФПУ, целиком определяется (при заданной отметке НПУ) отметкой ФПУ. Форсированный подпорный уровень есть такой уровень, при котором через полностью открытые водосбросные отверстия плотины (и имеющиеся береговые водосбросы) проходит максимальный расчетный расход воды.

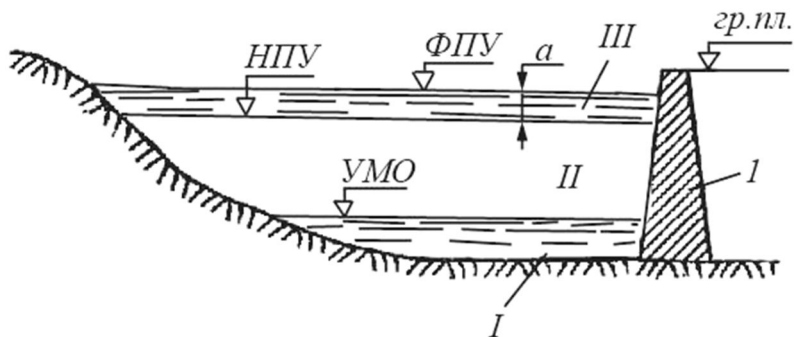


Рис. 1.1 Характерные уровни воды в верхнем бьефе плотины 1. I — мертвый объем; II — полезный объем; III — резервный объем.

Значение ФПУ устанавливается технико-экономическим расчетом, учитывающим ущерб от временного затопления земель в верхнем бьефе за период, когда уровень находится выше НПУ, и стоимость той или иной конструкции водопропускных сооружений плотины, обеспечивающих прохождение максимального расчетного расхода воды.

Гидротехнические устройства, уменьшающие размыв русла

В верхнем бьефе у плотины поток имеет обычно скорости течения меньше, чем они были до создания подпора. Однако на подходе к водосбросным отверстиям местные скорости возрастают и при определенном их значении возможны размывы русла, способные привести к нарушению устойчивости плотины. В пределах плотины вода движется с очень большими скоростями (иногда более 20 м/с). В связи с этим в нижнем бьефе за плотинной поток неизбежно разрушает русло, вызывает глубокие

размывы дна реки, что угрожает целостности плотины (рис. 1.2).

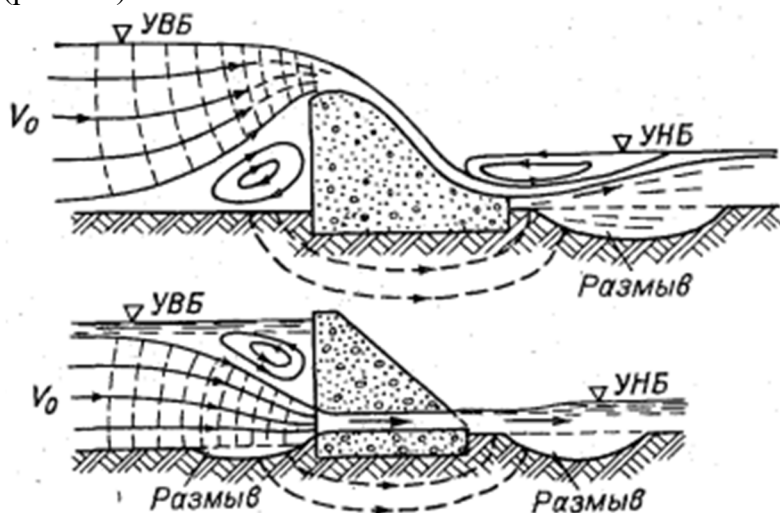


Рис. 1.2 Воздействие русла на подпорное сооружение и русло.

Для защиты русла от размыва перед плотиной устанавливается специальное покрытие, носящее название *понур* (рис. 1.3). Другое назначение понура — борьба с фильтрацией воды под сооружением. Понур изготавливают из железобетона или из глинистого грунта, асфальта, полимеров. Для гашения избыточной энергии и защиты русла от разрушения непосредственно за водосливом плотины устраивают бетонное, либо ряжее или свайное покрытие дна, называемое *водобоем*. На нем теряется основная часть энергии потока. С целью гашения энергии потока он может быть дополнен водобойным колодцем, водобойной стенкой и др.

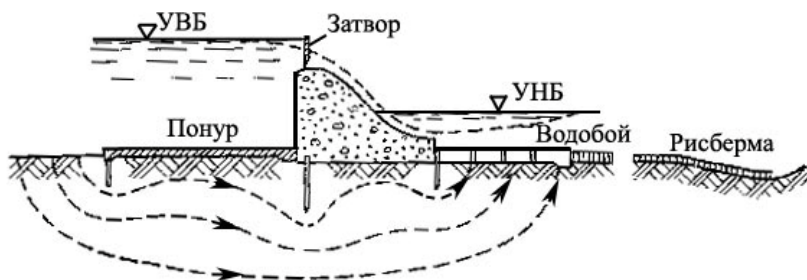


Рис. 1.3 Схема защиты плотины от воздействия на нее водного потока.

За водобоем следует обычно проницаемое для воды покрытие, называемое *рисбермой*, на которой скорости потока доводятся до величин, не опасных для грунта дна русла. Рисберма, как правило, устраивается из камня.

Шпунты являются гасителями напора: при устройстве шпунта напор на участке подземного контура за шпунтом уменьшается; равным образом уменьшаются и пьезометрические уклоны вдоль подземного контура. Кроме того, шпунты: а) препятствуют развитию внутренней суффозии в области основания; б) защищают основание плотины от подмыва ее поверхностным потоком (низовой шпунт); в) препятствуют выносу грунта из-под плотины под действием ее веса; г) позволяют осуществить сопряжение тела плотины с водопором и в результате получить глубинную схему подземного контура. Устройство низового шпунта вызывает увеличение противодействия на подошву плотины. Чтобы избежать этого, низовой шпунт можно делать перфорированным. Перфорированные шпунтовые ряды при фильтрационных расчетах учитывать не следует. По конструкции шпунтовые ряды делят: а) на металлические в

соответствии с имеющимися сортаментами шпунтовых металлических свай; предельная длина таких шпунтовых свай 22 м; б) на деревянные, длиной около 3...5 м; в) на железобетонные;

Во многих случаях при строительстве водоподъемных плотин, предназначенных для улучшения условий водозабора или судоходства, не возникает требования значительного повышения уровня воды в верхнем бьефе, но при этом сохраняется необходимость пропуска через сооружения вод реки иногда с весьма большими расходами. Это вынуждает строить плотины с очень низким порогом, а точнее, от самого тела плотины оставлять только фундаментную часть. Такую фундаментную часть обычно конструктивно объединяют с водобоем, причем получают одну бетонную плиту, называемую *флютбетом* (рис. 1.4).

Резюмируя:

Понур — водонепроницаемое покрытие, создаваемое в верхнем бьефе для предохранения от размыва поверхностным потоком участка ложа реки, примыкающего к гидротехническому сооружению, и для удлинения пути фильтрации грунтовых вод.

Водобой — гидротехническое обустройство нижнего бьефа, предназначенное для снижения размыва речного русла путём принятия на себя ударной энергии водяного потока.

Рисберма — площадка в нижнем бьефе гидротехнического сооружения, укрепляющая дно водотока, предохраняющая его от размыва, выравнивающая пульсации и гасящая энергетику сбрасываемой в русло воды. Нередко располагается за водобоем.

Шпунт — удлиненный элемент с замками паз/гребень с обеих сторон, гасящий напор, препятствующий развитию суффозии в области основания плотины, защищающий основание плотины от размыва

Флютбет — совокупность основных частей плотины, создающих искусственное ложе для протекания водотока.

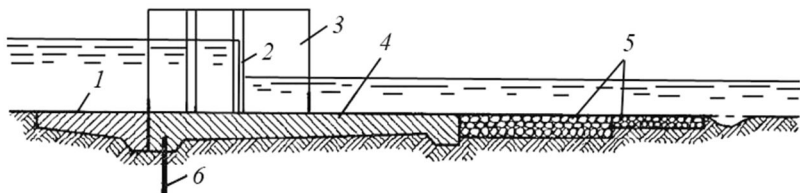


Рис. 1.4. Схема плотины с флютбетом:

1 — понур; 2 — затвор; 3 — бык; 4 — флютбет; 5 — рисберма; 6 — шпунт.

Бетонные и железобетонные плотины

Плотины по конструктивным признакам и условиям статической работы различают:

1) гравитационные массивные (рис. 1.5, а), т. е. плотины, устойчивость которых обеспечивается их собственным весом — горизонтальному сдвигающему гидростатическому давлению воды P в данном случае противостоит сила трения T (а иногда и сила сцепления), действующая по подошве плотины, которая зависит от веса плотины G :

$$T = f \cdot G \quad (1.1)$$

где f — коэффициент трения тела плотины по основанию;

2) контрфорсные (рис. 1.5, б), устойчивость которых обеспечивается не только весом самой плотины G , но и

весом воды G_B в объеме призмы ABC ; эти плотины имеют большой уклон верховой грани AB ;

3) арочные (рис. 1.5, в), работающие как свод, «положенный на бок» и упирающийся своими пятками в берега;

4) гравитационные облегченные, т. е. такие плотины, в которых предпринят ряд конструктивных мер с целью экономии дорогостоящего бетона, разумеется, при сохранении необходимой устойчивости сооружения.

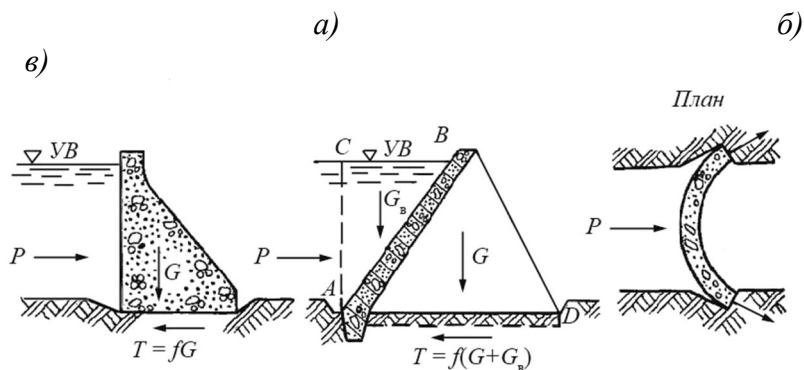


Рис. 1.5. Гравитационная (а), контрфорсная (б) и арочная (в) плотины.

Массивные гравитационные плотины

Бетонные гравитационные плотины обладают следующими достоинствами: а) они сравнительно просты по условиям постройки; б) надежны в любых климатических условиях; в) просты в эксплуатации.

Их недостатками являются: а) относительно высокая стоимость по сравнению со многими другими типами плотин в тех же условиях; б) недостаточное использование прочности материала — бетона, из которого плотины

выполнены, так как напряжения в них не достигают величин, которые материал мог бы безопасно выдержать, т. е. дорогостоящий бетон здесь в значительной степени играет роль балласта.

Массивные гравитационные бетонные плотины находят широкое применение. Они строятся как глухими, так и водопропускными, на мягких основаниях и на скальных, высоконапорными и в виде низких плотин–порогов.

Глухие гравитационные плотины, как правило, строят не на скальных грунтах.

Водопропускные же гравитационные плотины распространены как на скальных, так и на нескальных основаниях.

Облегченные гравитационные плотины

Облегченные бетонные плотины применяют с целью уменьшения объема бетонных работ и удешевления строительства. Среди них используются плотины с расширенными швами (а), плотины с полостью у основания (б) и плотины с заполнением пустот камнем (в). Такие плотины могут быть глухими и водосливными. Экономия бетона в плотинах получается в основном за счет уменьшения противодействия, передающегося на уменьшенную площадь основания плотины, а в плотине, представленной на рис. 1.6, в, за счет замены части бетонной кладки камнем. На рис. 1.6, г показана так называемая массивно-контрфорсная бетонная облегченная плотина, которая может быть глухой и водосливной. Она состоит из бетонных стенок-контрфорсов, соединенных друг с другом с напорной и низовой сторон массивными оголовками, между которыми предусмотрено уплотнение. В этом типе плотин экономия бетона получается за счет наклона напорной грани плотины α и снижения противодействия на основание, передаваемого, как и в

схемах *а* и *б*, не на всю плотину, а только на ширину контрфорсов.

Железобетонные контрфорсные плотины представлены на рис. 1.7. Если такую плотину возводят на сравнительно слабом основании, то контрфорсы упирают на сплошную фундаментную плиту или каждый контрфорс расширяют в основании на величину, определяемую расчетом. Напорную грань железобетонных контрфорсных плотин выполняют в виде плоских железобетонных плит или наклонных сводов. Последний тип называется *многоарочной плотиной*.

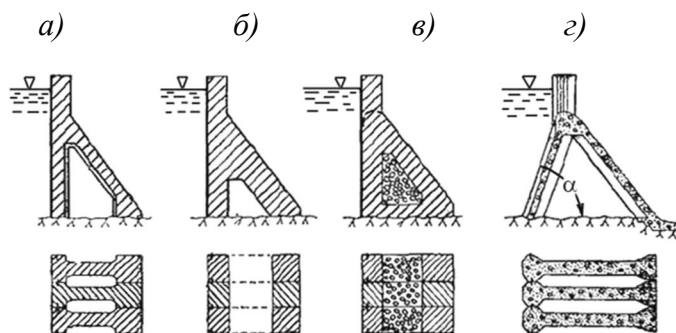


Рис. 1.6. Облегченные бетонные плотины: *а* — с расширенными швами; *б* — с полостью у основания; *в* — с пазухой, заполненной камнем; *г* — массивно-контрфорсная.

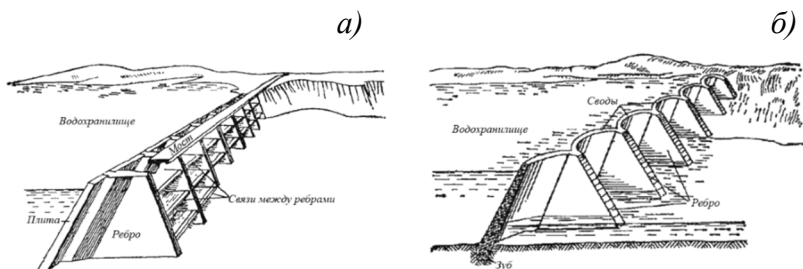


Рис. 1.7. Железобетонные контрфорсные плотины: а – с плоской напорной гранью; б – многоарочная.

Арочные плотины сооружают исключительно на скальном основании. Арочная плотина представляет собой свод, упирающийся своими пятami в скальные берега. Естественно, что устойчивость такой плотины обеспечивается не силой трения T (см. рис. 1.5), как в случае гравитационной и контрфорсной плотин, а реакциями скальных берегов. Со скальным основанием арочная плотина сопрягается соответствующим зубом, под которым устраивают инъекционную завесу.

Арочные плотины представляют собой пространственную конструкцию в виде некоторой оболочки. При этом только часть силы P (см. рис. 1.5, в) передается на берега; другая часть этой силы воспринимается скальным основанием. Распределение силы между берегами и основанием может быть в разных случаях различным.

Основными параметрами арочной плотины (рис. 1.8) являются: а) радиус r арки (в плане) в данном горизонтальном сечении плотины; б) центральный угол 2α этого сечения; в) отношение ширины L створа плотины к ее высоте H ($L:H$); г) отношение ширины b плотины понижу (в вертикальном поперечном ее сечении) к высоте плотины H ($b:H$).

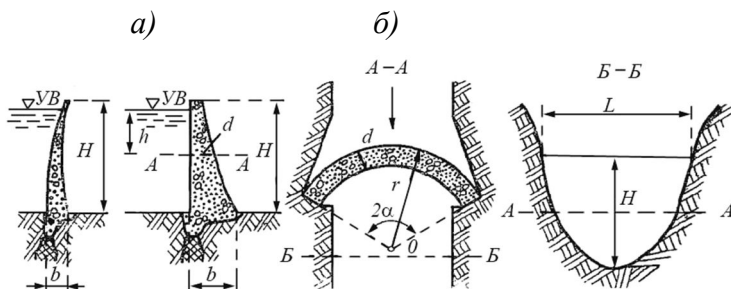


Рис. 1.8. Схема арочной плотины.

Несколько условно арочные плотины подразделяются на два типа: *а* — собственно арочная плотина (тонкая арочная плотина); *б* — арочно-гравитационная плотина (рис. 1.5).

По сравнению с гравитационными плотинами арочные имеют меньший объем бетонной кладки. Переходя от варианта гравитационной плотины к варианту арочной, объем бетонной кладки для заданных конкретных условий можно уменьшить примерно в 2–3 раза. Следует, однако иметь в виду, что стоимость бетона в случае арочной плотины получается на 10–15 % больше, чем в случае гравитационной плотины.

Плотины из грунтовых материалов

К грунтовым материалам (называемым иногда «местными материалами») относятся: а) нескальные грунты (глинистые, песчаные, гравелисто-галечные); б) естественный камень, получаемый путем разработки скального грунта.

Плотины из грунтовых материалов почти всегда бывают глухими: перелив воды через их гребень допускается только как исключение для плотин малой высоты (при условии принятия соответствующих мер).

Плотины из грунтовых материалов оказываются весьма экономичными конструкциями, если вблизи места строительства имеется соответствующий грунт или камень. Существенным положительным качеством рассматриваемого типа плотин является их долговечность, простота конструкции и производства работ по их осуществлению, в связи с чем для сооружения таких плотин не требуется, в частности, большого количества квалифицированной рабочей силы.

Земляные плотины, являясь древнейшим типом плотин, и в настоящее время имеют самое широкое распространение. Эти плотины можно строить практически на любых основаниях, что является их крупнейшим преимуществом.

По способам постройки земляные плотины делятся на насыпные, возводимые путем отсыпки грунта в тело плотины (насухо или в непроточную воду) и намывные, возводимые средствами гидромеханизации земляных работ. Способ постройки плотины существенно влияет на ее конструктивные особенности.

Земляные насыпные плотины (рис. 1.9) по конструктивным признакам принято разделять на следующие основные типы:

1) плотины из однородного грунта, т. е. выполненные из одного вида слабоводопроницаемого грунта;

2) плотины из неоднородного грунта, т. е. выполненные из разных грунтов; часто отдельные грунты в теле плотины располагают так, чтобы водопроницаемость плотины увеличивалась по направлению от верхнего бьефа к нижнему, иногда же наиболее водонепроницаемый грунт помещают в центральной части профиля плотины;

3) плотины с наружной (верховой) маловодопроницаемой или водонепроницаемой противофильтрационной преградой в виде экрана,

выполненного из маловодопроницаемого грунта, асфальтобетона, полиэтиленовой пленки и т. п.;

4) плотины с внутренней (центральной) маловодопроницаемой или водонепроницаемой преградой в виде ядра, образованного маловодопроницаемым грунтом, или диафрагмы из негрунтовых материалов: бетона, железобетона, асфальтобетона, полиэтиленовой пленки, металла и т. п.

Поперечное сечение земляной плотины представляет собой обычно трапецию. Минимально возможный ее профиль определяется устойчивостью откосов, т. е. величиной угла Θ , который зависит от вида грунта и высоты плотины.

Земляные намывные плотины (рис. 1.10) возводят методом гидромеханизации. Гидромеханизация земляных работ предусматривает механизацию трех разных процессов:

1) разработку грунта в карьерах, которая осуществляется или при помощи так называемых гидромониторов – «особых брандспойтов» (если карьеры находятся над водой), или при помощи землесосов (если карьеры находятся под водой);

2) транспорт грунта из карьеров в тело плотины; здесь так называемая пульпа, или гидросмесь (механическая смесь воды и грунта) той или другой консистенции, перемещается в напорных трубопроводах (при помощи особых насосов) или (реже) самотеком в открытых лотках;

3) укладку (намыв) грунта в тело плотины.

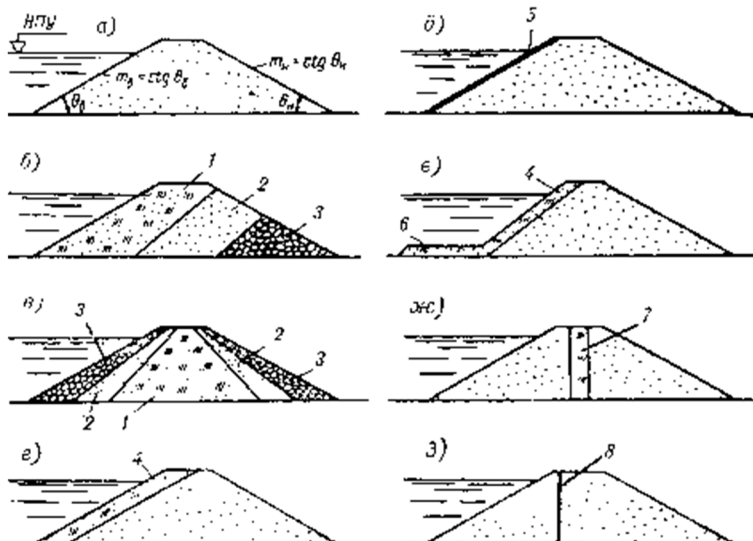


Рис. 1.9. Основные типы земляных насыпных плотин (схема). 1 — суглинок; 2 — песок; 3 — гравий; 4 — экран грунтовый; 5 — экран из негрунтового материала; 6 — понур; 7 — ядро; 8 — диафрагма.

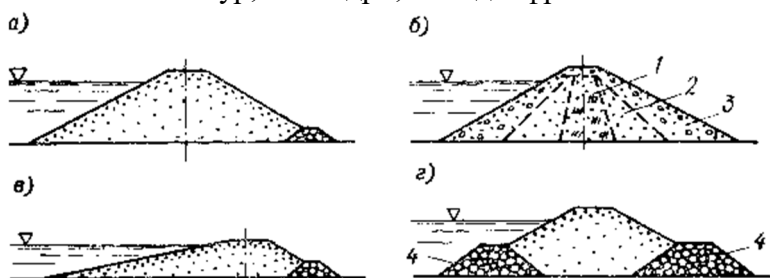


Рис. 1.10. Основные типы (а – г) земляных намывных плотин (схемы). 1 — ядерная центральная зона; 2 — промежуточная зона; 3 — боковая зона, выполненная гравийно-песчаным грунтом; 4 — боковая каменно-набросная призма (банкет).

Плотины из каменной наброски и сухой кладки.

Различают следующие основные типы этих плотин: 1) каменно-набросные плотины с экраном (рис. 1.11, а); 2) каменно-набросные плотины с диафрагмой (рис. 1.11, б); 3) плотины из сухой кладки (рис. 1.11, в).

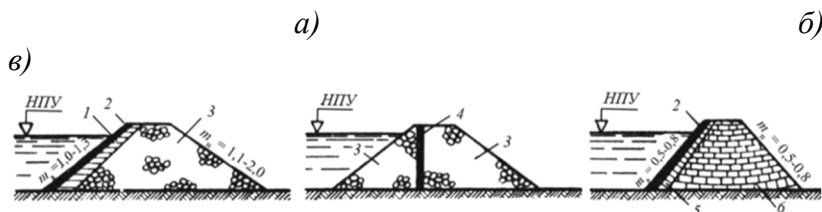


Рис. 1.11. Основные типы (а–в) каменных плотин (схемы):

1 — подэкрановый выравнивающий слой (сухая кладка, крупнообломочный грунт или мелкий камень); 2 — экран; 3 — наброска; 4 — диафрагма; 5 — кладка на растворе; 6 — сухая кладка.

Принципиально важной особенностью каменных плотин является то, что в их конструкцию обязательно входит экран или диафрагма, выполненные из негрунтовых материалов, как правило из железобетона, и представляющие собой единственное препятствие на пути фильтрующейся воды.

Условно к каменной наброске обычно относят и крупнообломочный грунт, поскольку плотины, возведенные из этого грунта, так же, как и каменно-набросные плотины, требуют обязательного создания противифльтрационного устройства.

Строительство каменно-набросных плотин в настоящее время осуществляют двумя способами:

1) высокими ярусами высотой до 10 м, из крупного камня, набрасываемого так называемым «пионерным

способом» (из самосвалов) и уплотняемого струёй воды из гидромонитора;

2) тонкими слоями-высотой 1,5–2,5 м, из относительно мелкого камня или крупнообломочного грунта, набрасываемого пионерным способом и уплотняемого мощным пневмо – или виброкатками.

Деревянными плотинами (рис. 1.12) называются такие, в которых нагрузка от воды и других факторов воспринимается в основном деревянными конструкциями, а устойчивость против сдвига обеспечивается закреплением деревянных частей в основании, нагрузкой их балластом в виде земли, камня и другими средствами.

Деревянные плотины, как правило, устраивают водопропускными (водосливными); глухие деревянные плотины применяются очень редко, так как они оказываются даже в лесистых местностях дороже глухих земляных или каменно–набросных плотин.

Основной породой дерева в плотиностроении является сосна как наиболее распространенная и стойкая в условиях переменной влажности.

Положительными качествами древесного строительного материала, содействовавшими широкому применению его в плотиностроении, являются: легкость обработки и простота конструкций, упругость, малая чувствительность к колебаниям температуры, хорошая сопротивляемость размывающему действию воды, сравнительная дешевизна.

Недостатком дерева являются: деформативность древесины (усушка, коробление и снижение ее прочности под влиянием влажности); трудность конструирования элементов, работающих на растяжение; сгораемость; подверженность гниению и разрушению вредителями.

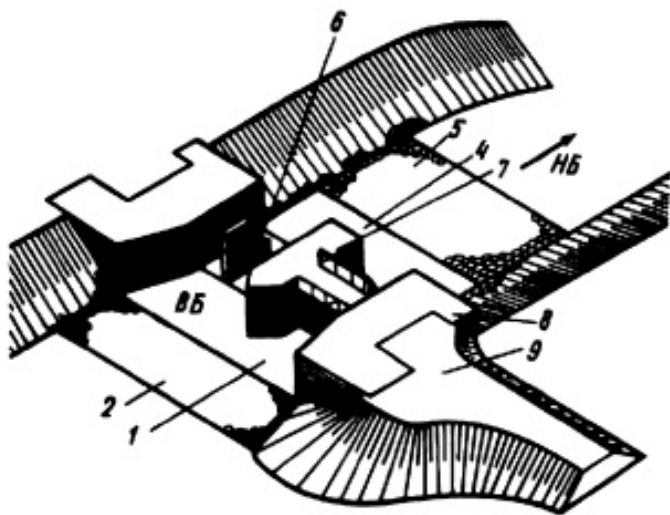


Рис. 1.12. Общий вид деревянной водосливной плотины: 1 — понура; 2 — глиняная подушка; 3 — водобой; 4 — слив; 5 — рисберма; 6 — контрфорс; 7 — бык; 8 — устой; 9 — земляная плотина.

Тип деревянной плотины зависит от конструкции его нижней флютбетной части, которая устраивается по одному из следующих типов:

1) свайный, в котором нагрузка от воды воспринимается, в конечном счете сваями, забиваемыми в грунт основания;

2) ряжевый, в котором нагрузки передаются стенкам ряжей, устанавливаемых непосредственно на грунт основания;

3) свайно-ряжевый, в котором нагрузки передаются на свайный ростверк.

Свайный флютбет так называемого русского типа состоит из понура, водобоя, слива и рисбермы и образуется рядами свай, забиваемых непосредственно в

грунт основания и перекрываемых поверху деревянными полами, под которыми, как правило, укладывается загрузка, иногда называемая балластом (рис. 1.13).

Свайный ростверк, который представляет собой брусья, связывающие сваи и перекрываемые полом, образует совместно с понурным и водобойным полами порог водослива, который воспринимает горизонтальную нагрузку от воды на плотину. Загрузка под понуром служит для обеспечения водонепроницаемости понурной части, увеличивает сопротивления водобоя всплывания под действием фильтрационного противодействия воды снизу и увеличивает сопротивляемость плотины сдвигу. Подземный водонепроницаемый контур флютбета чаще всего образуется понуром, который иногда удлиняется глиняной подушкой, водонепроницаемой загрузкой водобоя и несколькими шпунтовыми рядами; понурным. Королёвым, который располагается под линией затворов в начале водобоя и водобойным, располагаемым в конце водобоя. Иногда, для снижения фильтрационного противодействия на водобой, водобойный шпунт заменяется свайным частоколом, т.е. рядом свай, забитых в грунт вплотную друг к другу. Основным и самым важным элементом подземного контура деревянной плотины является королёвый шпунт, следующим по значению понурный шпунт, остальные шпунтовые ряды могут и отсутствовать.

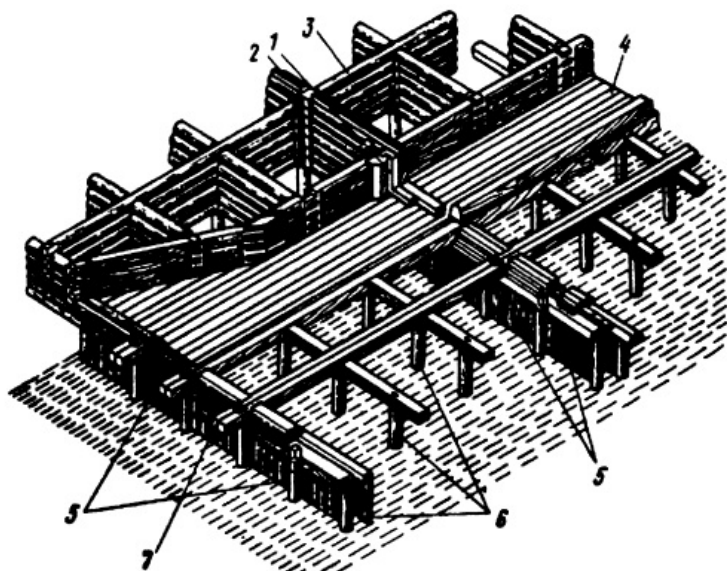


Рис. 1.13. Свайный флютбет: 1— паз для щита; 2 — шпунтовый простенок; 3 — ряжевый береговой устой; 4 — пол водобоя; 5 — шпунтовая стенка; 6 — маячные сваи; 7 — связывающий подпольный брус.

Ряжевые флютбеты (рис. 1.14) выполняются в виде бревенчатых или брусчатых срубов, которые в последующем заполняются балластом в виде засыпки и перекрываются сверху деревянным полом. Ряжевые флютбеты устраиваются как на скальных, так и на нескальных основаниях. В ряжевом флютбете русского типа ряжи устанавливаются непосредственно на грунт основания, который не допускает забивки в него свай, а шпунтовые стенки при этом заглубляются в траншеи, забиваемые глиной, или заанкериваются в бетонные зубья.

Устои и быки ряжевых плотин выполняются либо из брусьев, либо из бревен, набираемых как пространственная ячеистая конструкция с ячейками размером в плане от 2 до

4 м в каждую сторону. Ячейки, как правило, имеют форму квадрата и для обеспечения устойчивости против сдвига заполняются каменным материалом или фунтом, имеющимся в достаточном количестве на месте строительства. Такие плотины строятся при напорах до 12 м и называются также ряжевymi плотиными русского типа.

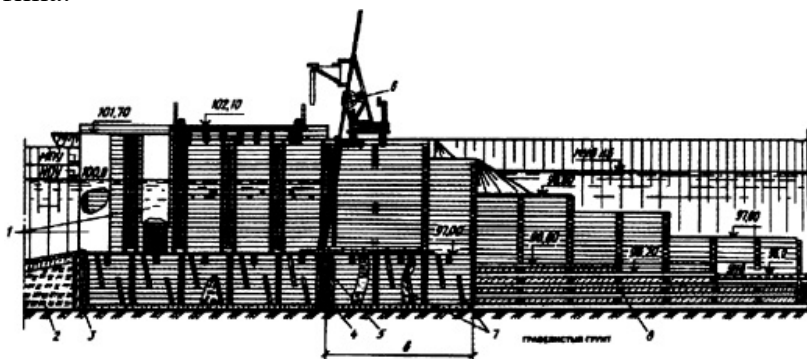


Рис. 1.14. Продольный разрез по плотине с ряжевым флютбетом: 1 — обшивка врубок листовой сталью; 2 — битумный мат; 3 — шпунтовая стенка; 4 — сжимы; 5 — направляющий треугольник; 6 — ручной передвижной реечный подъемник; 7 — шпонки; 8 — сквозные ряжи.

Свайно-ряжевые флютбеты (рис. 1.15) устраиваются вместо свайных и в тех случаях, когда высота порога превышает обычный предел для свайного флютбета в 1 м или несколько выше при козловых сваях.

Свайно-ряжевый флютбет русского типа состоит из свай и шпунта, забитых так же, как у свайного флютбета, в отличие от него на уровне дна они срезаются по горизонтальной плоскости и на них на рубаются ряжи, таким образом, что пересечения ряжевых стен приходится как раз над сваями. Шпунты обычно либо продолжают внутри ряжей, либо наращиваются шпунтовыми

брусчатыми стенками, которые перекрываются так называемыми шапочными брусками. Заполнение клеток ряжей балластом аналогично заполнению подполий свайных флутбетов, аналогично также и устройство попов. Для вовлечения в работу против сдвига водобоя и понура иногда их продольные связи устраиваются непрерывно идущими продольными брусками венцов ряжей, по несколько штук внизу и вверх.

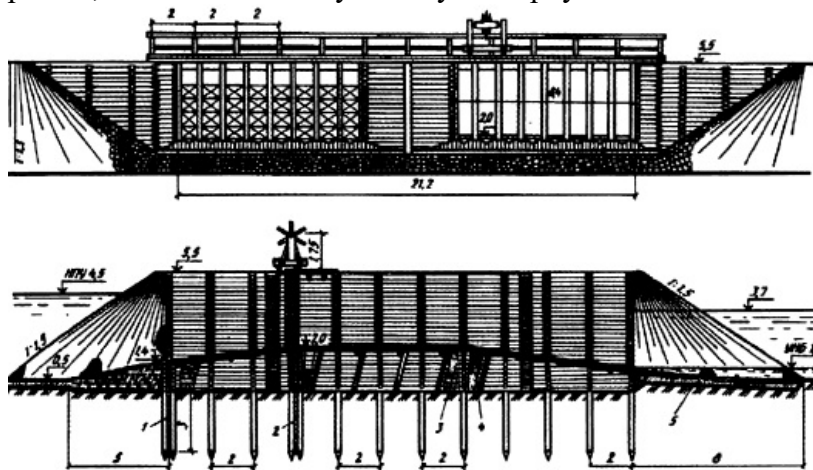


Рис. 1.15. Свайно-ряжевая плотина русского типа: 1 — понурный шпунт; 2 — королёвый шпунт; 3 — обратный фильтр; 4 — загрузка камнем; 5 — подготовка из крупного песка.

Водопропускные устройства в теле плотины

Рассматривая водопропускное сооружение, устроенное при глухой плотине, различают: входное отверстие сооружения и транзитную его часть.

Входное отверстие может быть: 1) поверхностным, т. е. расположенным на уровне поверхности воды в водоеме; это отверстие работает как водослив; иногда его именуют водосливным или безнапорным; 2) глубинным,

расположенным так, что верхняя кромка его оказывается ниже уровня воды в водоеме; это отверстие называют также водоспускным, погруженным или напорным; 3) глубоким поверхностным, когда нижняя кромка поверхностного отверстия расположена у дна; 4) донным глубинным, когда нижняя кромка глубинного отверстия расположена у дна (рис. 1.16).

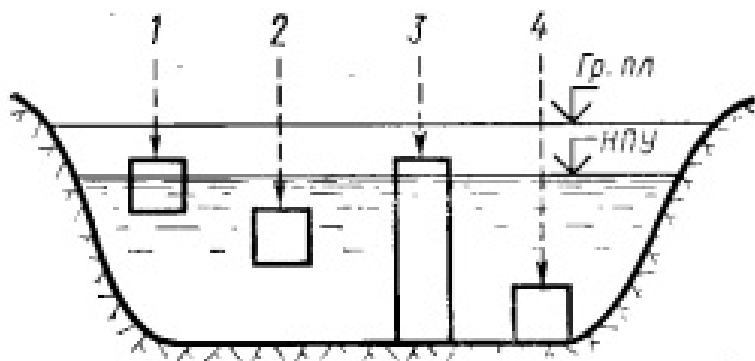


Рис. 1.16. Схема входных отверстий:
1 — поверхностное; 2 — глубинное; 3 — глубокое
поверхностное; 4 — донное глубинное.

В общем случае при глухой плотине устраивают следующие водопропускные сооружения: 1) *водосброс*, служащий для сброса лишней воды из водохранилища (верхнего бьефа) во избежание переполнения его и перелива воды через гребень плотины; входной порог водосброса, имеющего поверхностное входное отверстие, устраивают на уровне НПУ или несколько ниже, например на высоту затвора, часто устанавливаемого на этом пороге; 2) *хозяйственный водоспуск*, устраиваемый для осуществления полезных пропусков воды из водохранилища в русло реки или в специально устроенный

в нижнем бьефе канал, транспортирующий воду потребителю; порог входного отверстия закладывают несколько ниже УМО, с тем чтобы при самом низком уровне воды в водохранилище можно было подать потребителю необходимое количество воды; хозяйственный водоспуск именуют иногда рабочим водоспуском или водовыпуском; 3) *аварийный водоспуск*, служащий для полного опорожнения водохранилища в случае, например, аварийного состояния плотины; входной порог водоспуска устраивают на уровне дна водохранилища.

В некоторых случаях водопропускное сооружение проектируют двоякого назначения, например, для сброса лишних вод из верхнего бьефа и одновременно для полезных попусков воды в нижний бьеф. Иногда хозяйственный водоспуск при больших паводках используют дополнительно для сброса лишней воды из верхнего бьефа.

Водосброс. Служит для сброса излишней воды из водохранилища (из верхнего бьефа) во избежание его переполнения. Водосбросы бывают с глубокими колодцами (шахтные, ковшевые и др.) и могут служить и для опорожнения водоема. В то же время донные водоспуски могут выполнять функцию управляемых глубинных водосбросов.

Типы конструкции водосбросов определяются топографическими, геологическими, гидрогеологическими, гидрологическими, эксплуатационными условиями. Водосбросы могут устраиваться как в берегах балки или ручья, так и в теле плотины. Береговые водосбросы располагаются обычно непосредственно около плотины и сбрасывают воду в ту же балку (ручей) или в соседний водоток (понижение).

Водосбросы в теле земляных плотин располагают в русле или на пойме балки (ручья).

Основными элементами водосбросов, расположенных на берегах, являются подводящий канал криволинейного или прямолинейного очертания в плане, водосливная часть в виде водослива с широким порогом и сбросная часть в виде быстрого тока или многоступенчатого перепада.

По конструкции водосбросы подразделяются на открытые и закрытые. Водосбросы в теле плотины устраивают закрытыми (сифонные и шахтные).

Сифонный водосброс (рис. 1.17) в зависимости от расхода устраивают из железобетонных, металлических или асбестоцементных труб из одной или нескольких ниток (до 6 шт.), опор и раструбных оголовков в верхнем и нижнем бьефах. Гребень сифона располагается на отметке НПУ. Входной оголовок оборудуется воздухоотводящими металлическими трубками. Верхняя кромка оголовка заглубляется на 0,2 м ниже НПУ. Нижний бьеф сооружения крепится железобетонными плитами, верхний — железобетонными плитами и камнем, уложенным в один слой. Этот тип водосброса является автоматическим. Его пропускная способность составляет $1,2 - 5,8 \text{ м}^3/\text{с}$ по одной нитке и диаметре труб 576 – 960 мм.

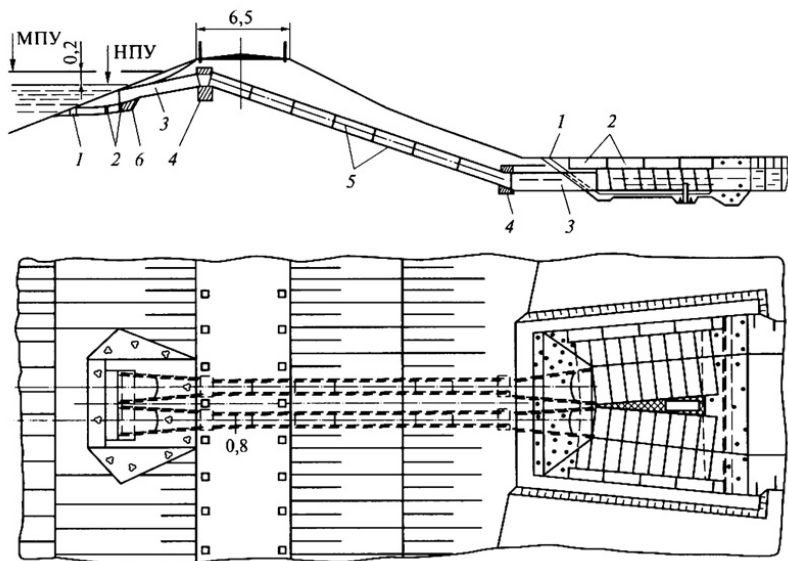


Рис. 1.17. Сифонный водосброс (размеры указаны в м): 1 — одиночное мощение; 2 — плита крепления; 3 — раструб; 4 — опора; 5 — звенья круглых труб; 6 — гравийно-песчаная подготовка.

Шахтный водосброс (рис. 1.18) обычно устраивают из монолитного и сборного железобетона. Он работает в автоматическом режиме. Основными элементами конструкции являются шахта, напорный трубопровод и гаситель энергии. Гребень водослива устраивают на отметке НПУ. Напор на водосливе принимают до 0,8 – 1,0 м. Для полного опорожнения водоема в нижней части шахты предусматривается отверстие, перекрываемое затвором, а при необходимости и рыбоудерживающей решеткой.

Напорный трубопровод укладывают на бетонный фундамент. Для гашения напора фильтрационного потока вдоль трубопровода устраивают диафрагмы. Гашение

энергии в нижнем бьефе обеспечивается решетчатым или иным видом гасителя.

Более эффективными являются водосбросы с малыми удельными расходами воды (до $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$). Они более просты, более зрелищны с точки зрения ландшафтной архитектуры и удобны в эксплуатации. Водосбросы устраивают в виде лотков — быстроток с нормальной шероховатостью.

Водосброс из монолитного бетона представляет собой лоток трапецеидального сечения с любым коэффициентом заложения откоса. Водослив, быстроток и водобойный колодец разделены швами. Размеры отдельных участков в пределах швов колеблются обычно в пределах $12 - 14 \text{ м}^2$. Бетон укладывают толщиной $0,10 - 0,15 \text{ м}$ на подготовку из гравия или щебня толщиной $0,10 \text{ м}$. Между водосливом и быстроток, а также между быстроток и водобойным колодцем устраивают заборные стенки. Перед водосбросом сооружают ледозащитную стенку. Водобойный колодец образуется за счет выемки и насыпи буферной дамбочки, облицованной монолитным бетоном. Вместо водобойного колодца может быть устроена водобойная стенка. Сравнительный экономический анализ показал, что водосброс из монолитного бетона в $2 - 3$ раза дешевле сифонного водосброса.

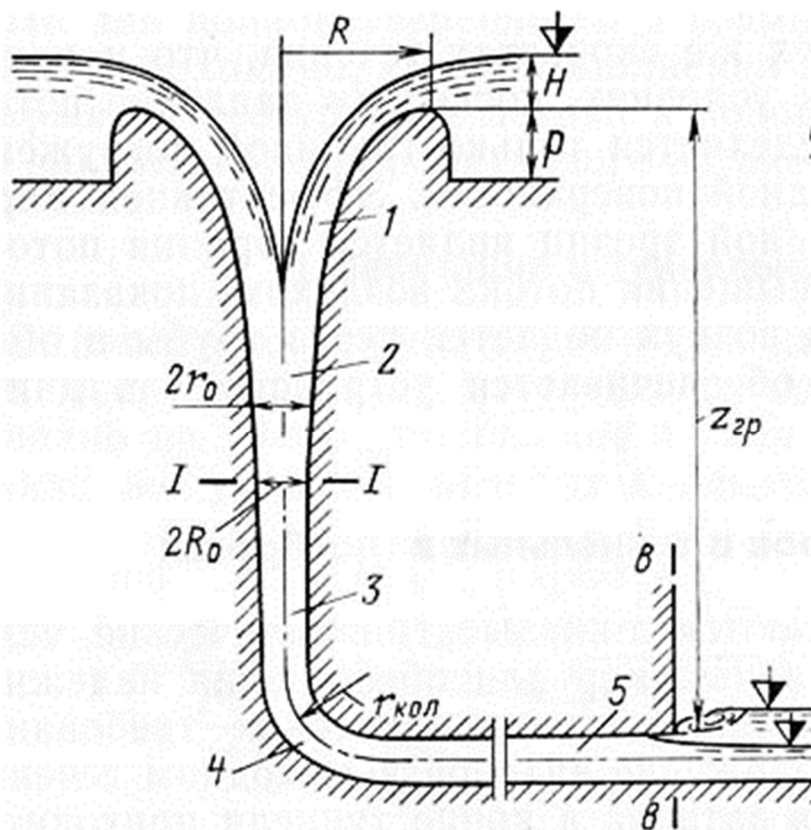


Рис. 1.18. Основные элементы шахтного водосброса: 1 — водосливная воронка; 2 — переходный участок; 3 — вертикальная или наклонная шахта; 4 — колено или иное сопрягающее устройство; 5 — отводящий туннель.

Водоспуск. По конструкции они бывают открытыми и закрытыми. В земляных плотинах обычно устраивают закрытые трубчатые водоспуски из металлических, асбестоцементных и железобетонных труб. В конце трубчатых водоспусков предусматривают устройство для гашения энергии (рис. 1.19).

Закрытый сифонный водоспуск из металлических труб диаметром 150 – 300 мм рассчитан на расход воды 0,020 – 0,345 м³/с при разности бьефов 0,5 – 6,0 м.

Применение этого водоспуска возможно при разности отметок наивысшей точки оси сифона и минимального уровня воды в отводящем русле не более 7 м. В работу водоспуск запускается с помощью вакуум-насоса. Гашение энергии в нижнем бьефе происходит в воронке размыва или колодезном гасителе.

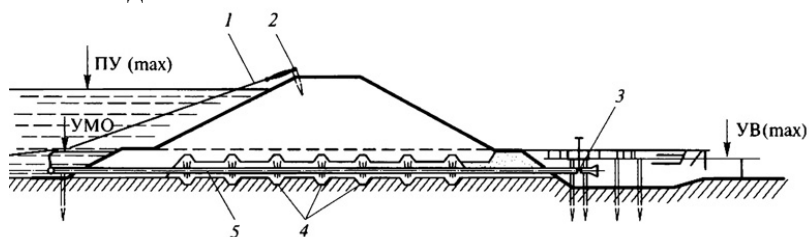


Рис. 1.19. Закрытый трубчатый водоспуск с низовым затвором: 1 — канат; 2 — натяжной конец; 3 — выходной оголовок с затвором; 4 — диафрагмы; 5 — стальной трубопровод.

Хозяйственные водоспуски, устраиваемые для осуществления полезных попусков воды из водохранилища в русло реки или в специально устроенный в нижнем бьефе канал или трубопровод, транспортирующий воду потребителю (в том числе и на ГЭС). Порог входного отверстия хозяйственного водоспуска закладывают несколько ниже УМО (уровня мертвого объема) с тем, чтобы при самом низком горизонте воды в водохранилище (при УМО) можно было бы подать потребителю необходимое количество воды; хозяйственный водоспуск именуют иногда рабочим водоспуском, или водоприемником, или водозаборным устройством;

- *аварийный водоспуск*, служащий для полного опорожнения водохранилища, в случае, например, аварийного состояния плотины; входной порог такого водоспуска устраивают на уровне дна водохранилища.

Водосброс при плотине устраивают почти всегда. Хозяйственный водоспуск делают в том случае, когда из водохранилища приходится подавать (самотеком) воду потребителю. Что касается аварийного водоспуска, то его делают не всегда.

Перечисленные водопропускные устройства являются постоянными, их называют эксплуатационными.

Механическое оборудование плотин

Механическое оборудование плотин служит для открытия и закрытия водопропускных отверстий, устраиваемых в плотинах.

Различают следующие основные виды механического оборудования плотин:

1) затворы, служащие непосредственно для закрытия и открытия водопропускных отверстий плотин (рис. 1.20 – 1.22);

2) закладные части затворов, т. е. неподвижные металлические устройства, заделываемые в бетонное тело плотины и обеспечивающие нормальную работу затворов; в качестве примера закладных частей можно назвать различные опоры затворов, рельсы, по которым перемещается затвор, и т. п.;

3) подъемно-опускные механизмы (лебедки, краны, гидроприводы), при помощи которых осуществляется поднятие или опускание затвора.

4) служебные мосты, на которых располагаются стационарные подъемные механизмы или по которым перемещаются подъемные краны.

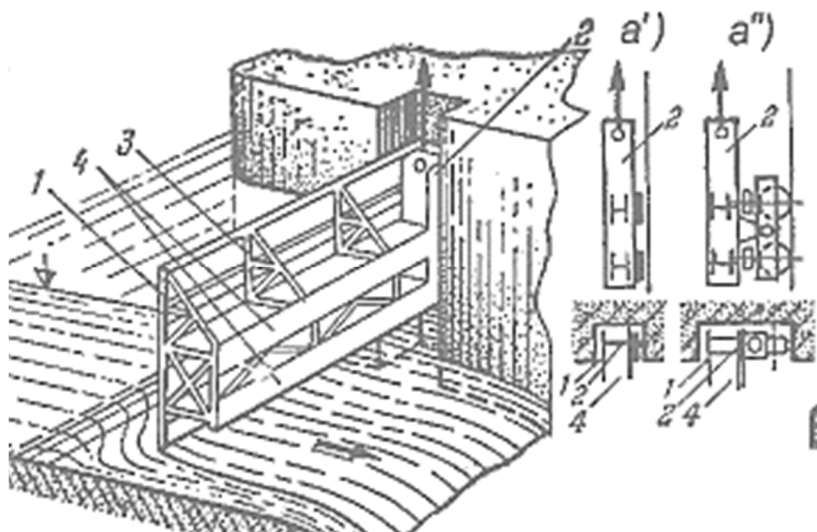


Рис. 1.20. Схема плоского затвора с a' — скользящими затворами, a'' — опорами качения: 1 — обшивка; 2 — опорно-концевые стойки; 3 — диафрагмы; 4 — ригели.

По назначению различают затворы:

а) рабочие (или основные), которые постоянно работают при эксплуатации плотины; с их помощью регулируют величину расхода воды, сбрасываемой в нижний бьеф, а также поддерживают в случае необходимости соответствующий уровень воды в верхнем бьефе;

б) ремонтные, которыми закрывают данное отверстие на период запланированного ремонта рабочего затвора; маневрирование ремонтными затворами осуществляют в покоей воде; определенное число ремонтных затворов сохраняют обычно в специальных затворохранилищах и доставляют их к месту установки при помощи кранов;

в) аварийные, которыми закрывают отверстие в случае какой-либо аварии; эти затворы должны опускаться в текущую воду (чем они существенно отличаются от

ремонтных затворов); иногда требуют, чтобы аварийные затворы были быстродействующими;

г) аварийно–ремонтные, выполняющие функции как аварийных, так и ремонтных затворов;

д) строительные, которые используются в период строительства плотины.

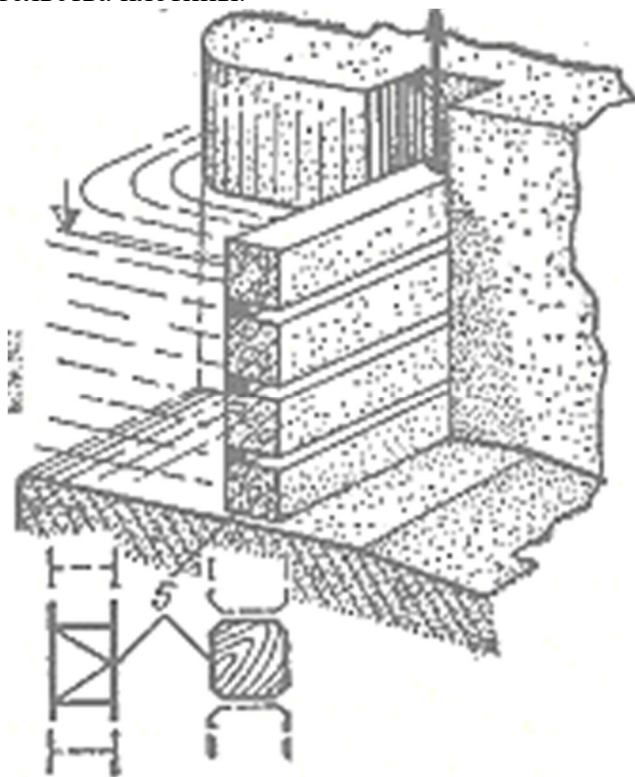


Рис. 1.21. Схема шандорного затвора: 5 — шандорные балки стальные/деревянные/железобетонные; стрелками указано направление тягового усиления привода.

По роду перекрываемого отверстия затворы делятся на поверхностные, служащие для закрытия водосливных отверстий (гребень такого затвора в закрытом положении

находится выше уровня воды верхнего бьефа), и глубинные, служащие для закрытия глубинных отверстий и всегда находящиеся ниже уровня воды верхнего бьефа.

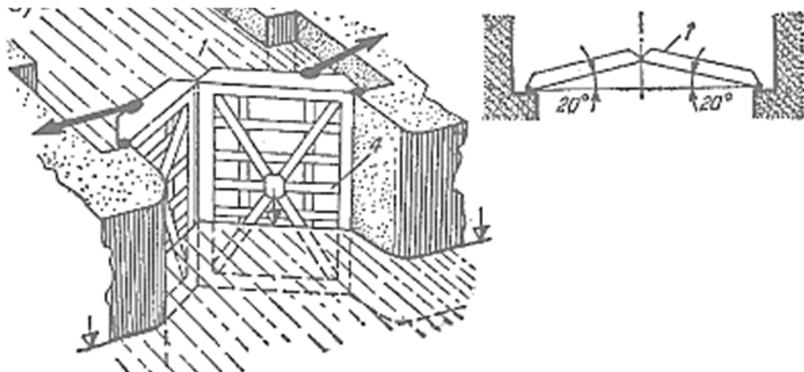


Рис. 1.22. Схема двухстворчатых ворот шлюза: 4 — ригели.

Лабораторная работа 1

«Гидротехнический расчет плотины»

Цель работы: оптимизировать размеры гидротехнического сооружения; определить основные силы, действующие на гидротехническое сооружение; оценить устойчивость сооружения.

Исходные данные для выполнения лабораторной работы даны в Приложении 1.

Расчет длины подземного контура

Во избежание механической суффозии необходимо, чтобы скорости фильтрующегося потока были бы меньше тех, при которых может начаться процесс выноса частичек грунта основания в нижний бьеф сооружения. Известно, что скорость фильтрации зависит от пьезометрического уклона. Следовательно, для каждого типа грунта существует тот предельный уклон, превышение которого вызывает суффозию.

Удобнее пользоваться не пьезометрическим уклоном $i = H/L$, а величиной, ему обратной $C = L/H$, откуда:

$$L = H \cdot C \quad (1.2)$$

где L — длина подземного контура, м.

Линия контакта сооружения с грунтом основания по направлению продольной оси потока называется подземным или фильтрационным контуром. Есть требуемая длина, а есть фактическая.

Требуемая (приведенная) длина подземного контура $L_{тр}$ — условно вводимая для описания физического объекта в тех или иных задачах, но, возможно, не связанная напрямую с его размером.

$$L_{\text{тр}} = C_0 \cdot H \quad (1.3)$$

C_0 — фильтрационные свойства, характеристика физико-механических свойств грунта; H — напор, м.

$$H = H_1 - H_2 \quad (1.4)$$

Фактическая длина подземного контура L_{Φ} определяется по формуле:

$$L_{\Phi} = \frac{1}{m} \sum L_{\Gamma} + L_{\text{В}} \quad (1.5)$$

где $L_{\text{В}}$, L_{Γ} — длины вертикальных и горизонтальных участков, м (рис. 1.23); m — редуцированный коэффициент, принятый равным 2.

Должно соблюдаться условие:

$$L_{\Phi} \geq L_{\text{тр}} \quad (1.6)$$

Выбор исходных данных осуществляется вариативно (см. Таблицу 1).

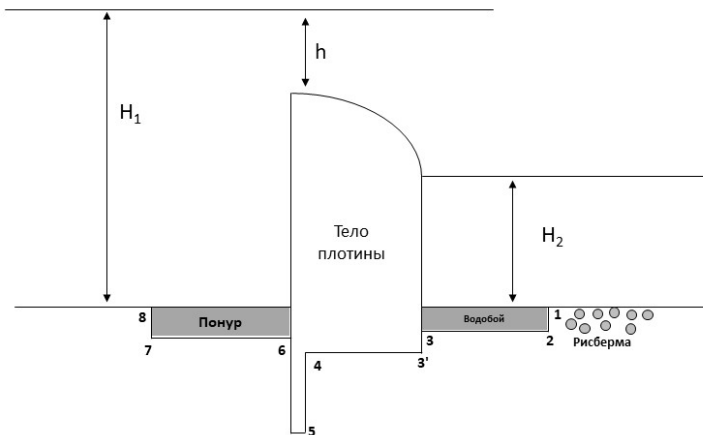


Рис. 1.23. Схема плотины.

Вертикальные участки ($L_{\text{В}}$): 1-2, 3-3', 4-5, 5-6, 7-8;
горизонтальные участки (L_{Γ}): 2-3, 3'-4, 6-7.

Таблица 1.1 – Исходные данные

Характеристика	Значение
H_1 , м	7,0
h , м	1,1 ... 2,6
H_2 , м	0,5
γ_0 , т/м ³	1,0
γ_6 , т/м ³	2,2
C_0	5,00 ... 6,15
(1-2), м	1,37 ... 1,52
(2-3), м	$H^*(2,0 \dots 3,4)$
(3-3'), м	1,25 ... 1,40
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,0 ... 4,7
(5-6), м	$(1-2) + (3-3') + (4-5) - (7-8)$
(7-8), м	0,15 ... 0,75

γ_0 , т/м³ – удельный вес воды;

γ_6 , т/м³ – удельный вес бетона.

Участок (6-7) рассчитывается самостоятельно.

Таблица 1.2 – Расчет длины подземного контура сооружения для сплошного водобоя

№ участка	L_B	L_Γ	$L_\Gamma/2$	ΣL
(1-2)		-	-	
(2-3)	-			
(3-3')		-	-	
(3'-4)	-			
(4-5)		-	-	
(5-6)		-	-	

№ участка	L_B	L_Γ	$L_\Gamma/2$	ΣL
(6-7)	-			
(7-8)		-	-	

Суммирование участков выполняется последовательно.

Таблица 1.3 – Расчет длины подземного контура сооружения для фильтрующего водобоя

№ участка	L_B	L_Γ	$L_\Gamma/2$	ΣL
(1-2)		-	-	
(3-3')		-	-	
(3'-4)	-			
(4-5)		-	-	
(5-6)		-	-	
(6-7)	-			
(7-8)		-	-	

Определение сил, действующих на гидротехническое сооружение

Силы, которые действуют на сооружение, делятся на внутренние силы и внешние. В данной работе рассматриваются внешние силы.

Внешние силы классифицируются в зависимости от:

- 1) происхождения (собственный вес плотины; давление воды, льда, наносов, грунта; ветровая нагрузка; сейсмические силы);
- 2) характера действия сил (статические, динамические);
- 3) продолжительности и повторяемости (основные — постоянно действующие; катастрофические — временно

действующие; силы очень мощные, но редкой повторяемости).

Расчет веса плотины

Высота тела плотины определяется по формуле:

$$T = H_1 - h + L_{(1-2)} + L_{(3-3')} \quad (1.7)$$

где $L_{(1-2)}$ и $L_{(3-3')}$ — длины участков (1–2) и (3–3') соответственно.

Далее выполняется построение эскиза тела плотины любым удобным способом (миллиметровка, AutoCAD) в масштабе 1:1 (в 1 см – 1 м) и вычисляется площадь фигуры (F , м²).

Вес плотины (т/м) определяется по формуле:

$$G = \gamma_b \cdot F \quad (1.8)$$

Расчет противодействия

Идея метода линейной контурной фильтрации, состоит в следующем. Для определения полного противодействия на подошву сооружения необходимо иметь значение этого противодействия во всех точках подошвы, т. е. должна быть построена эпюра противодействия, площадь которой и даст искомую величину.

Под действием сил противодействия вес плотины уменьшается. Напор теряется по линейному закону.

Эпюра противодействия состоит из двух частей:

1) прямоугольная часть — **взвешивающее** противодействие (гидростатическое);

$$U_{вз_i} = \gamma_0 \cdot \gamma_i \quad (1.9)$$

y_i – величина погружения i -ой точки под уровень нижнего бьефа.

2) треугольная часть — существует только тогда, когда есть напор — **фильтрационное** противодействие (гидродинамическое).

$$U_{\Phi_i} = \gamma_0 \cdot H \cdot \frac{\sum L}{L_{\Phi}} \quad (1.10)$$

Суммарное противодействие определяется как сумма взвешивающего и фильтрационного противодействий:

$$U_i = U_{ВЗ_i} + U_{\Phi_i} \quad (1.11)$$

Таблица 1.4 – Расчет противодействия для сплошного водобоя

№ точки	$U_{ВЗ}$	$\sum L$	U_{Φ}	U
1	H_2	-		
2	$H_2 + (1-2)$			
3	$H_2 + (1-2)$			
3'	$H_2 + (1-2) + (3 - 3')$			
4	$H_2 + (1-2) + (3 - 3')$			
6	$H_2 + (7-8)$			
7	$H_2 + (7-8)$			
8	H_2			

Таблица 1.5 – Расчет противодействия для фильтрующего водобоя

№ точки	$U_{ВЗ}$	$\sum L$	U_{Φ}	U
3	$H_2 + (1-2)$			
3'	$H_2 + (1-2) + (3 - 3')$			
4	$H_2 + (1-2) + (3 - 3')$			

№ точки	$U_{ВЗ}$	ΣL	U_{Φ}	U
6	$H_2 + (7-8)$			
7	$H_2 + (7-8)$			
8	H_2			

После всех расчетов строятся эпюры противодействия для сплошного водобоя и фильтрующего. Масштаб линейный 1 см : 2 м — горизонтальные линии. Масштаб силовой 1 см : 2 т/м³ — вертикальные линии.

Пример эпюр противодействия представлен на рисунках ниже (рис. 1.23, 1.24).

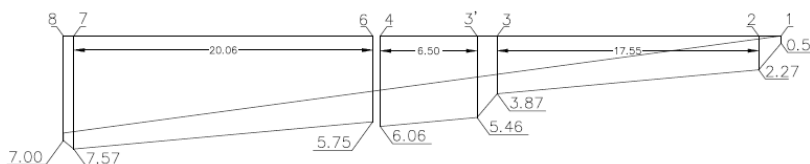


Рис. 1.23. Эпюры противодействия при сплошном водобое

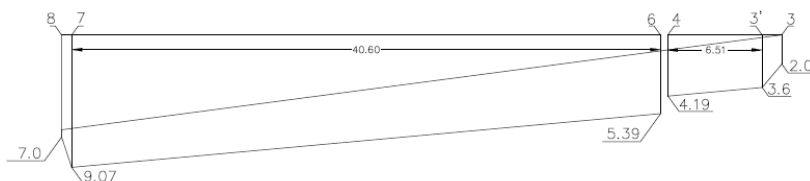


Рис. 1.24. Эпюры противодействия при фильтрующем водобое

Определение давления воды на вертикальные участки плотины

Расчёт выполняется для сплошного водобоя. Равнодействующие давления вычисляются как векторная сумма всех сил, действующих на тело плотины одновременно.

$$R_1 = \frac{\gamma_0 \cdot H_1^2}{2} \quad (1.12)$$

$$R_2 = \frac{\gamma_0 \cdot H_1 + U_6}{2} \cdot [(1-2) + (3-3')] \quad (1.13)$$

R_i — давление на стену плотины, т/м;

R — равнодействующая суммарного давления, т/м;

U_i — противодействие в точке, т/м³;

U_6 — суммарное противодействие в точке 6, (1-2) и (3-3') — длины участков 1-2 и 3-3' соответственно.

$$R_3 = \frac{\gamma_0 \cdot H_2^2}{2} \quad (1.14)$$

$$R_4 = \frac{\gamma_0 \cdot H_2 + U_{3'}}{2} \cdot [(1-2) + (3-3')] \quad (1.15)$$

$$R_5 = \frac{\gamma_0 \cdot h^2}{2} \quad (1.16)$$

Суммарное равнодействующее давление на вертикальные стенки определяется по формуле:

$$R = R_1 + R_2 - R_3 - R_4 - R_5 \quad (1.17)$$

Противодействие плотины:

$$W_{пл} = \frac{U_4 + U_{3'}}{2} \cdot [(3'-4)] \quad (1.18)$$

Оценка устойчивости элементов гидротехнического сооружения

Устойчивость определяется силами, которые действуют постоянно.

Необходимо соблюдение условия $K_{уст} \geq 1,2$, где $K_{уст}$ — коэффициент устойчивости гидротехнического сооружения на сдвиг и на всплытие.

Оценка устойчивости понура на всплытие

- Случай сплошного водобоя

$$K_{вспл} = \frac{G_{пон} + G_{воды} - W_{ВЗ}}{W_{Фил}} \quad (1.19)$$

где $K_{вспл}$ — коэффициент всплытия;

$G_{пон}$ — вес понура, т/м;

$G_{воды}$ — вес воды, т/м;

$W_{ВЗ}$ — взвешивающее противодействие, т/м;

$W_{Фил}$ — фильтрующее противодействие, т/м.

$$G_{пон} = \gamma_B \cdot (7 - 8) \cdot (6 - 7) \quad (1.20)$$

$$G_{воды} = \gamma_0 \cdot H_1 \cdot (6 - 7) \quad (1.21)$$

$$W_{ВЗ} = U_{6ВЗ} \cdot (6 - 7) \quad (1.22)$$

$$W_{Фил} = \frac{U_{6Ф} + U_{7Ф}}{2} \cdot (6 - 7) \quad (1.23)$$

- Случай фильтрующего водобоя

$$K_{вспл\ \Phi} = \frac{G_{пон} + G_{воды} - W_{ВЗ}}{W_{Фил}} \quad (1.24)$$

$$G_{пон} = \gamma_B \cdot (7 - 8)_{\Phi} \cdot (6 - 7)_{\Phi} \quad (1.25)$$

$$G_{воды} = \gamma_0 \cdot H_1 \cdot (6 - 7)_{\Phi} \quad (1.26)$$

$$W_{B3} = U_{6_{B3\Phi}} \cdot (6 - 7)_{\Phi} \quad (1.27)$$

$$W_{\Phi_{\text{пл}}} = \frac{U_{6_{\Phi\Phi}} + U_{7_{\Phi\Phi}}}{2} \cdot (6 - 7)_{\Phi} \quad (1.28)$$

Оценка устойчивости водобоя на всплытие

$$K_{\text{вспл}} = \frac{G_{\text{водобой}} + G_{\text{воды}} - W_{B3}}{W_{\Phi}} \quad (1.29)$$

$$G_{\text{водобой}} = \gamma_B \cdot (1 - 2) \cdot (2 - 3) \quad (1.30)$$

$$G_{\text{воды}} = \gamma_0 \cdot H_2 \cdot (2 - 3) \quad (1.31)$$

$$W_{B3} = U_{2_{B3}} \cdot (2 - 3) \quad (1.32)$$

$$W_{\Phi} = \frac{U_{2_{\Phi}} + U_{3_{\Phi}}}{2} \cdot (2 - 3) \quad (1.33)$$

Оценка устойчивости тела плотины на сдвиг

- Случай сплошного водобоя

$$K_{\text{сдв}} = \frac{f \cdot (G_{\text{пл}} - W_{\text{пл}})}{R} \quad (1.34)$$

f — коэффициент трения принятый равном 0,6.

В случае, если условие устойчивости не будет соблюдаться, то необходимо выполнять расчет для анкерного понура.

- Расчет для анкерного понура

$$K_{\text{сдв}} = \frac{f \cdot (G_{\text{пл}} - W_{\text{пл}} + G_{\text{пон}} + G_{\text{вода}} - W_{\text{пон}})}{R} \quad (1.35)$$

$$W_{\text{пон}} = W_{B3} + W_{\Phi} \quad (1.36)$$

$$W_{\text{пл}} = \frac{U_4 + U_{3'}}{2} \cdot [(3' - 4)] \quad (1.37)$$

Вывод.

Понур устойчив/не устойчив на всплытие в случае сплошного водобоя и устойчив/не устойчив в случае фильтрующего водобоя, так как $K_{вспл}$...

Водобой устойчив/не устойчив на всплытие, так как $K_{вспл}$...

Тело плотины устойчиво/не устойчиво на сдвиг, так как $K_{сдв}$...

Контрольные вопросы

1. Что такое гидротехника?
2. Назовите характерные уровни воды в верхнем бьефе и их особенности.
3. Какими бывают бетонные и железобетонные плотины? Перечислите их достоинства и недостатки.
4. Как осуществляется расчет длины подземного контура гидротехнического сооружения?

2 Водосливы

Для измерения расходов воды малых рек пункты гидрологических наблюдений оборудуются техническими устройствами или гидрометрическими сооружениями, обеспечивающими непрерывный автоматический учет стока. Таковыми гидрометрическими сооружениями являются гидрологические расходомеры. Они позволяют определять расходы воды в водотоках только по значению уровня в измерительной части сооружения на основании использования теоретических (гидравлических) зависимостей между расходом и уровнем или подобных зависимостей, но получаемых по данным тарировок.

К числу таких расходомеров относятся гидрометрические лотки, водосливы и контрольные русла.

По форме и размерам сечения порогов (стенок) водосливы разделяются на водосливы с широким порогом, практического профиля и с тонкой стенкой.

Водослив с широким порогом прямоугольного профиля отличается простотой конструкции. Порог водослива (рис. 2.1) представляет собой горизонтальную, прямоугольную (в плане) поверхность. Ширина порога равняется ширине подводящего русла, в котором устанавливается водослив.

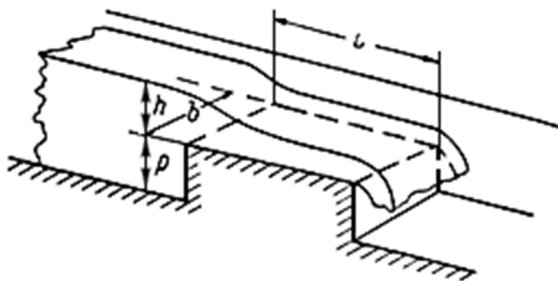


Рис. 2.1. Водослив с порогом прямоугольного профиля

Верховая и низовая грани водослива должны быть гладкими вертикальными плоскими поверхностями, перпендикулярными боковым стенкам и дну подходного канала.

Перед водосливом устраивается подходной канал прямоугольного поперечного сечения с горизонтальным дном. Ширина канала должна равняться ширине водослива. Стенки подходного канала выполняются вертикальными, плоскими, параллельными друг другу и гладкими. Длина подходного канала должна быть достаточной для создания нормального распределения скоростей для всех величин расходов. Она колеблется от 3 до 4 величин максимального напора.

С естественным руслом подходной канал сопрягается с помощью криволинейных в плане открылков.

Для водосливов этого типа рекомендуется располагать створ для измерения уровня воды выше водослива (напора на водосливе) на расстоянии, равном двум-трем максимальным напорам вверх от верховой грани водослива.

Из водосливов практического профиля для измерения расходов воды используются водослив Крампа и водомерный порог САНИИРИ.

Водослив с порогом треугольного профиля, или так называемый водослив Крампа, применим для измерения расходов воды в диапазоне примерно от 10 л/с до 50 м³/с на водотоках с умеренными уклонами водной поверхности (не более 2—3 ‰). Он обладает следующими преимуществами по сравнению с лотками или водосливами других типов (тонкостенными, с широким порогом):

- а) создает благоприятные условия для транзита наносов;
- б) обеспечивает незатопленный режим истечения при высоком коэффициенте подтопления, благодаря чему

особенно выгоден для строительства на реках с малыми уклонами или на ирригационной сети;

в) обладает устойчивыми гидравлическими характеристиками (коэффициент расхода), практически не меняющимися с изменением уровня;

г) обладает достаточной прочностью и устойчивостью, экономичен.

Профиль водослива образован пересечением двух плоскостей (рис. 2.2) — верховой, имеющей обратный уклон 1:2, и низовой, имеющей прямой уклон 1:5. Пересечение этих плоскостей образует горизонтальную линию гребня, которая в плане должна быть перпендикулярна направлению потока в подводящем русле. Гребень водослива имеет точно очерченный угол, выполняется из особо прочных материалов (бетон, железо), чтобы противостоять ударам плавающих тел. С боков водослив ограничивается вертикальными и параллельными друг другу стенками, перпендикулярными линии гребня. Их высота должна быть назначена из условия пропуска через водослив максимального (расчетного) расхода. Отметки верха стенок назначаются с запасом 0,15—0,20 м над отметкой уровня выше водослива, отвечающей пропуску. Длина боковых стенок вверх от линии гребня должна равняться сумме максимального напора и расстоянию до створа измерения напора (рис. 2.2); вниз по течению боковые стенки могут оканчиваться на расстоянии от 2 до 6 м ниже подошвы низового откоса.

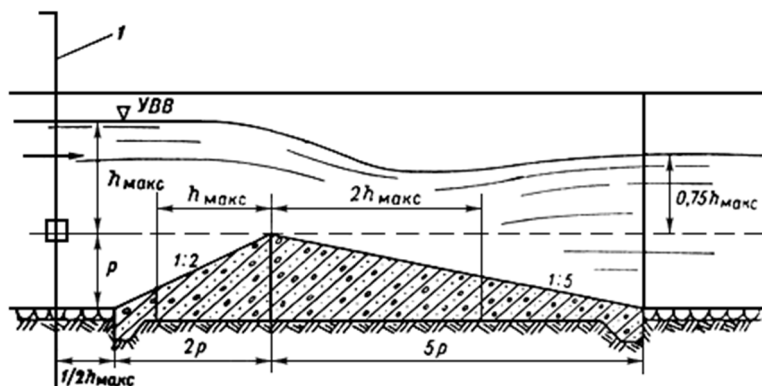


Рис. 2.2. Водослив Краппа
1 — створ для измерения напора

Поверхности водослива и его береговых стенок должны быть гладкими (бетон с цементной затиркой или облицовка материалом, не поддающимся коррозии). Они должны быть тщательно обработаны как минимум на расстоянии $0,5h_{\max}$ вверх и вниз по течению от линии гребня.

Створ для измерения напора на водосливе должен располагаться на расстоянии не менее $0,5h_{\max}$ от подошвы сооружения (линии пересечения верхового откоса с дном подводящего канала).

Водомерный порог САНИИРИ (рис. 2.3) рекомендуется для измерения расходов воды от 1,5 до 20 м³/с. С гидравлической точки зрения он представляет собой водослив практического профиля (полигональной формы) с наклонной верховой гранью с откосом 1:3 и горизонтальным порогом, имеющим длину, равную 0,8 высоты порога. Низовая грань порога вертикальна.

Колодец для установки самописца уровня воды сообщается с верхним бьефом через бетонированную траншею шириной 40—50 см и узкую щель (3—5 см) в

откосе канала. Для контроля за уровнем в траншее на стенке колодца устанавливается водомерная рейка.

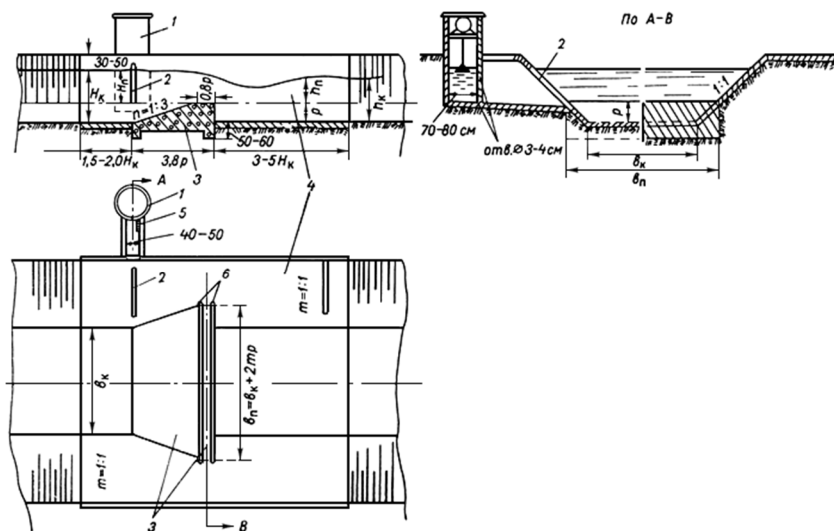


Рис. 2.3. Водомерный порог САНИИРИ

1 — павильон для СУВ; 2 — щель; 3 — порог; 4 — бетонированный откос канала; 5 — рейка; 6 — уголки металлической облицовки

Применять водомерный порог целесообразно на участках каналов и рек, находящихся в зоне переменного подпора, а также на участках с неустойчивым руслом (размыв, заиление, зарастание водной растительностью).

Тонкостенные водосливы относятся к типу сооружений, позволяющих измерять расход воды с наиболее высокой точностью. При этом необходимо соблюдать следующие, общие для всех водосливов этого типа требования:

1. Поскольку тонкостенный водослив - сооружение напорное, важно обеспечить, чтобы всякие утечки воды

(под сооружением или в обход) были сведены к минимуму. Это требование выполняется при проектировании сооружения созданием водонепроницаемого основания, а также надежного сопряжения напорной стенки с естественными берегами.

2. Поток перед водосливом должен протекать прямолинейно. Ось симметрии водосливного отверстия совпадает с осью подводящего канала. Скорость потока выше водослива, в измерительном створе (скорость подхода), не должна превышать при пропуске наибольших расходов воды 0,5 м/с.

3. Водослив всегда должен работать в условиях незатопленного режима. При этом уровень нижнего бьефа располагается ниже отметки гребня (или вершины угла водосливного выреза для треугольных водосливов). Для обеспечения свободного подвода воздуха под переливающуюся струю в прямоугольных водосливах без бокового сжатия уровень нижнего бьефа должен быть по крайней мере на 10 см ниже гребня водослива.

4. Края выреза водосливного щита следует подвергать специальной обработке так, как показано на рис. 2.4.

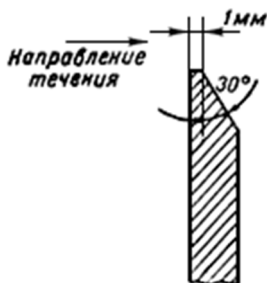


Рис. 2.4. Заточка ребра водослива

5. Струя переливающейся воды должна падать свободно, не прилипая к стенке водослива (рис. 2.5). В

случае прилипания струи к стенке пользоваться водосливом как измерительным устройством нельзя. Практически прилипание струи наблюдается при небольших напорах (меньше 5—6 см). Для уменьшения прилипания стенка водослива делается гладкой).

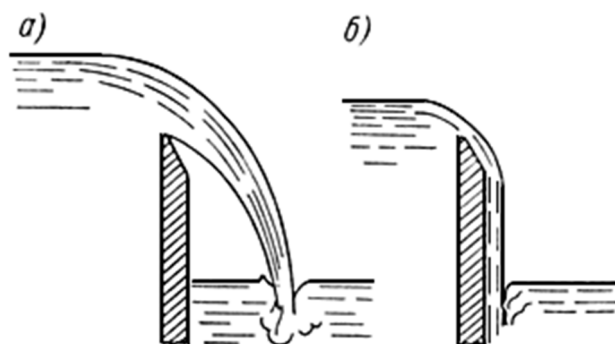


Рис. 2.5. Истечение через водослив при свободной (а) и прилипшей (б) струе

6. Гребень водослива должен возвышаться над дном реки перед стенкой (или над дном подводящего канала) не менее чем на 0,2 м.

7. Водомерные устройства: основной пост и приемную часть самописца уровня воды, служащие для измерения напора воды, следует располагать на расстоянии от водосливной стенки, равном трехкратному наибольшему напору на оси или у боковой стенки подводящего канала.

8. Перед водосливной стенкой недопустимы скопления мусора и отложение наносов, которые могут вызвать уменьшение превышения гребня водослива над дном верхнего бьефа или увеличение скорости подхода против допустимых пределов.

Форма выреза водослива с тонкой стенкой может быть прямоугольной, трапецидальной, треугольной, параболической, радиальной, пропорциональной (рис. 2.6).

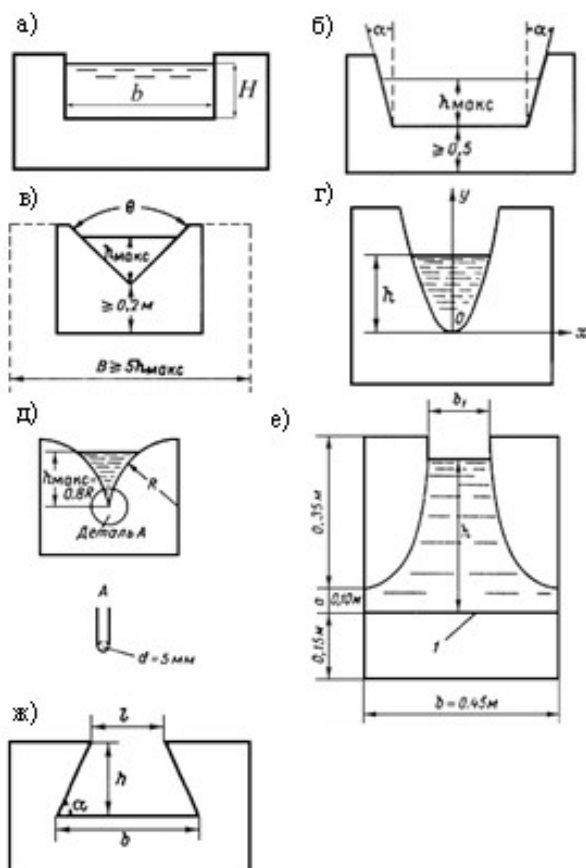


Рис. 2.6. Формы вырезов водосливов с тонкой стенкой
а — прямоугольный; б — трапецидальный; в —
треугольный; г — параболический; д — радиальный; е, ж
— пропорциональный

Прямоугольный водослив (рис. 2.6а и 2.7а) без бокового сжатия струи устраивается в подводящем канале прямоугольного сечения длиной, равной по крайней мере семи-восьмикратному наибольшему напору. Стенки канала, должны быть параллельными, вертикальными и плоскими, дно - горизонтальным. Стенка водослива должна располагаться от входного сечения канала на расстоянии, равном по крайней мере пятикратному наибольшему напору. Гребень водослива должен быть строго горизонтальным и иметь длину не менее 0,25 м. Ширина переливающейся через стенку струи должна в точности соответствовать ширине канала (как выше водосливной стенки, так и ниже нее). Воздух под струю подводится через отверстия в обеих стенках канала, диаметр которых должен быть не меньше 5 см. Наименьший напор, обеспечивающий достаточно точное определение расхода воды, составляет 0,05 м. Наибольший напор рекомендуется назначать не более 1 м, соблюдая при этом соотношение h/p не более двух, где p — превышение гребня водослива над дном подходного канала.

Расход воды, протекающей через прямоугольный водослив без бокового сжатия (в м³/с), определяется по формуле

$$Q = mb\sqrt{2gh}^{2/3}, \quad (2.1)$$

где m — коэффициент расхода; b — ширина водосливного отверстия в метрах; g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/с²; h — измеренный напор в метрах.

Прямоугольный водослив с боковым сжатием струи (рис. 2.6а и 2.7б) устраивается в тех случаях, когда желательно уменьшить величину скорости подхода. Ширина подходного канала в этом случае должна быть больше ширины водосливного отверстия. Боковые стенки

подходного канала должны находиться на одинаковом расстоянии (не меньше 0,1 м) от краев водосливного выреза.

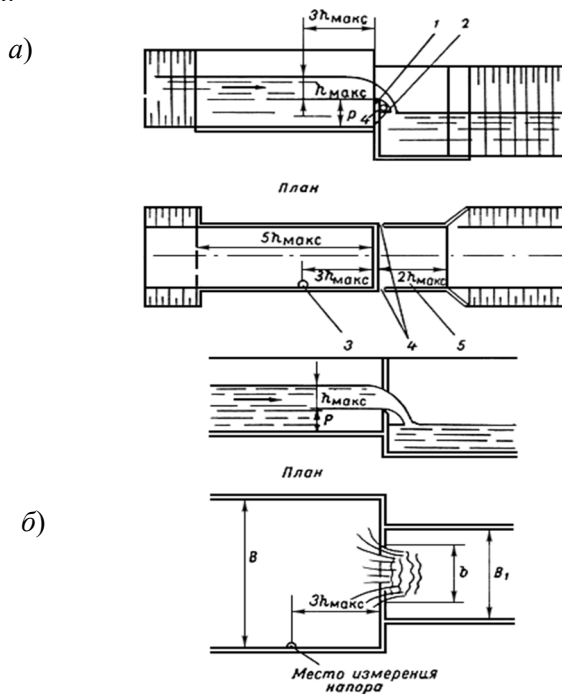


Рисунок 2.7. Прямоугольный водослив без бокового сжатия (а) и с боковым сжатием струи (б)

1 — ребро водослива; 2 — стенка водослива; 3 — место измерения напора; 4 — место подвода воздуха; 5 — канал отводящий

Расход воды, протекающей через прямоугольный водослив с боковым сжатием, определяется по той же формуле, что и для водослива без сжатия, но численные значения коэффициента расхода m здесь несколько меньше.

Трапецеидальный водослив (рис. 2.6б) устраивается в конце подходного канала шириной не менее двух-трехкратной ширины струи переливающейся воды. Вырез водослива имеет форму равнобедренной трапеции, у которой меньшее основание (гребень водослива) находится внизу и строго горизонтально, а проекции боковых сторон на основание равны $1/4$ высоты трапеции ($\text{tg}\alpha = 0,25$).

Расход воды через трапецеидальный водослив определяется по основной формуле прямоугольного незатопленного водослива, но с иными численными значениями коэффициента m .

Треугольный водослив (рис. 2.6в) устраивается при выходе из подходного канала, ширина которого B зависит от величины наибольшего напора $h_{\text{макс}}$ и от угла выреза водослива θ° . Зависимость ширины подходного канала перед треугольным водосливом от величины наибольшего напора и от угла выреза водослива приведена в табл. 2.1.

Таблица 2.1 Зависимость ширины подходного канала перед треугольным водосливом от величины наибольшего напора и от угла выреза водослива

θ°	120	90	60	45	20
$B/h_{\text{макс}}$	7	5	2,5	2	1

Вырез водослива в стенке устраивается по контуру равнобедренного треугольника, у которого вершина угла лежит внизу, и биссектриса этого угла совпадает с отвесной линией. Боковые равные стороны треугольника являются водосливными ребрами, затачиваемыми согласно рис. 2.4.

Пропускная способность треугольных водосливов зависит от величины угла θ . Чем больше θ , тем,

соответственно, больше расход воды через водослив при одном и том же напоре.

На практике применяются водосливы с углами выреза 120, 90, 60, 45 и 20°. 20-градусные водосливы имеют небольшую пропускную способность и применяются в качестве измерительных устройств лишь на стоковых станциях, на специальных площадках для учета стока со склонов.

Наименьший напор, обеспечивающий достаточно точное определение расхода воды, составляет 6 см. Наибольший напор рекомендуется назначать для водосливов с углами выреза 120, 90, 60 и 45° не более 1 м, с углом 20° — до 0,5 м.

Величина расхода воды, протекающей через треугольный водослив, выражается (в м³/с) в зависимости от напора h и угла θ следующей формулой:

$$Q = \frac{8}{15} \mu \sqrt{2g} \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} h^{5/2} \quad (2.2)$$

где μ — коэффициент расхода, равный 0,58-0,59. g - ускорение свободного падения, м/с²; θ - угол выреза водослива, град.; h – напор на водосливе, м.

Параболический водослив (рис. 2.6г) устраивается так же, как и треугольный. Вырез водослива очерчен по контуру параболы второй степени, выражаемой уравнением $x^2 = 2py$ (размеры в сантиметрах). Параметр p обычно равен 4 см.

Наименьший статический напор, обеспечивающий достаточно точное измерение расхода воды, равен 2 см. Наибольший напор рекомендуется назначать не более 0,5 м.

Расход воды (в м³/с), протекающей через параболический водослив, определяется по формуле

$$Q = 0,293p^{0,488}h^2 = 0,576h^2 \quad (2.3)$$

Радиальный водослив (рис. 2.6д) устраивается так же, как и треугольный. Основная часть выреза водослива очерчена двумя круговыми дугами, сопрягающимися между собой посредством полуокружности диаметром 5 мм. Такое сопряжение преследует цель улучшить гидравлические условия при малых напорах и уменьшить зону напора, где наблюдается прилипание струи к стенке водослива.

Пропускная способность радиальных водосливов определяется величиной напора и радиусом круговых дуг, образующих вырез водослива. Радиусы этих дуг 20, 30, 45 и 60 см.

Наименьший статический напор, обеспечивающий достаточно точное измерение расхода воды, равен 5 см.

Наибольший напор теоретически равен радиусу круговых дуг; однако не рекомендуется назначать его больше 0,8 этой величины, так как при дальнейшем повышении напора переливающаяся струя воды на боковых участках водослива, по очертанию близких к горизонтали, начинает прилипать к стенке.

Для получения линейной зависимости между расходом воды и уровнем воды в верхнем бьефе гидрометрического сооружения применяются так называемые пропорциональные водосливы.

В гидрометрической практике получили распространение два типа пропорционального водослива: водослив САНИИРИ и водослив Сутро.

Водослив САНИИРИ (рис. 2.6е) рекомендуется к устройству на небольших каналах для учета водозабора, но может применяться и на малых водотоках (ручьях) с расходами, не превышающими примерно $0,7 \text{ м}^3/\text{с}$, Водосливной вырез имеет форму трапеции, нижнее основание которой (порог водослива) больше верхнего.

Соотношение размеров частей отверстия пропорционального водослива следующее:

$$h = l = \frac{1}{2} b \quad (2.4)$$

Расход воды через водослив определяется по эмпирической формуле, имеющей вид

$$Q = ah - C, \quad (2.5)$$

где a и C — параметры, зависящие от длины порога водослива, а h — напор над его гребнем, измеряемый в сантиметрах. Величина расхода получается в л/с.

Пропорциональный водослив (рис. 4.7ж), имеющий форму выреза, образованную в нижней своей части прямоугольником с основанием b и высотой a , а в верхней — двумя гиперболическими кривыми, обращенными выпуклостями навстречу друг другу (водослив Сутро), нашел довольно широкое применение за рубежом в основном для учета расходов сточных вод, а также для химического дозирования и отбора проб. За последние годы он находит применение и в отечественной гидрометрической практике.

Водослив указанного типа может выполняться в двух вариантах: с порогом и без него. Последний вариант особенно целесообразно применять при наличии в потоке твердых взвешенных частиц (наносов). Пропускная способность этого типа водослива изучена значительно лучше, чем водослива с порогом.

Расход воды через водослив Сутро определяется по следующей формуле:

$$Q = K \left(h - \frac{a}{3} \right) \quad (2.6)$$

из которой следует, что измерение расходов можно вести, начиная с момента, когда напор на водосливе h превышает значение, равное $a/3$. Высоту прямоугольной части a для стандартных водосливов рекомендуется назначать от 3 до 12 см. В формуле расхода значения h и a берутся в сантиметрах, а расход получают в л/с. Величина постоянной K находится из следующего выражения:

$$K = Cb\sqrt{2ga}, \quad (2.7)$$

где C — коэффициент расхода водослива, полученный по данным лабораторных тарировок (величина этого коэффициента зависит от размеров водослива a и b , но мало меняется с изменением величины напора, поэтому для выбранных значений a и b она может считаться постоянной); a — высота прямоугольной части водослива в сантиметрах; b — длина гребня; для стандартных водосливов может назначаться в пределах 10-60 см.

Лабораторная работа 2

«Расчет размеров малого гидротехнического сооружения на примере водослива с тонкой стенкой»

Цель работы: расчет высоты гребня водослива с тонкой стенкой и подбор угла выреза треугольного водослива с тонкой стенкой.

Для выполнения расчетов в Приложении 2 представлены следующие исходные данные:

- минимальный расход воды, $Q_{\min}$, м³/с;
- максимальный расход воды, $Q_{\max}$, м³/с;
- ширина русла по дну, B , м;
- заложение откоса, m ;
- уклон, I ;
- коэффициент шероховатости, n .

Для определения высоты гребня водослива требуется установить уровень воды в водотоке, соответствующий максимальному расходу воды. Гребень водослива должен назначаться на 0,1 м выше этого уровня, который после сооружения водослива будет являться уровнем воды в его нижнем бьефе.

Требуемый уровень воды определяется по кривой зависимости расходов воды от уровня $Q = f(H)$. Построение кривой $Q = f(H)$ для водотока имеющего примерно трапецеидальную форму поперечного сечения производится по следующей схеме.

Для вычисления расходов воды используется следующая формула

$$Q = \omega C \sqrt{RI}, \quad (2.8)$$

где ω — площадь живого сечения, м²; C — коэффициент Шези; R — гидравлический радиус, м; I — уклон.

$$\omega = (B + mH)H, \quad (2.9)$$

где B — ширина русла по дну, м; m — заложение откоса; $m = \operatorname{ctg} \alpha$ — это горизонтальная проекция откоса, то есть основание прямоугольного треугольника, в котором гипотенуза расположена по линии откоса, а один катет по вертикальной прямой; H — уровень воды в водотоке, отсчитываемый от дна, м.

$$C = \frac{1}{n} R^{1,7\sqrt{n}}, \quad (2.10)$$

где n — коэффициент шероховатости.

$$R = \frac{\omega}{\chi}, \quad (2.11)$$

где χ — смоченный периметр, м.

$$\chi = B + 2(h\sqrt{m^2 + 1}) \quad (2.12)$$

Расчет расходов воды осуществляется при уровнях 0,1 м и далее с шагом 0,1 м до его величины, при которой расход воды превысит $Q_{\max}$. В процессе расчета заполняется вспомогательная таблица (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Вспомогательная таблица для построения зависимости $Q = f(H)$

h , м	ω , м ²	χ , м	R , м	C	Q , м ³ /с
0,10					
0,20					
0,30					
0,40					
0,50					
0,60					
0,70					
0,80					

По данным вспомогательной таблицы строится кривая зависимости расходов воды от уровня $Q = f(H)$. По кривой определяется максимальный уровень воды $H_{\max}$, соответствующий $Q_{\max}$. На рис. 2.8 представлен пример

кривой зависимости расходов воды от уровней $Q = f(H)$ и показан способ определения максимального уровня воды $H_{\max}$. Отметка уровня воды в нижнем бьефе водослива вычисляется путем суммирования отметки дна $H_{\text{дна}}$ и $H_{\max}$. Отметка гребня водослива назначается на 0,1 м выше отметки нижнего бьефа. Итоговая формула определения отметки гребня имеет вид

$$H_{\text{гр}} = H_{\text{дна}} + H_{\max} + 0,1, \quad (2.13)$$

где $H_{\text{дна}}$ – отметка дна, принимаемая для всех вариантов, равной 100 м. усл.

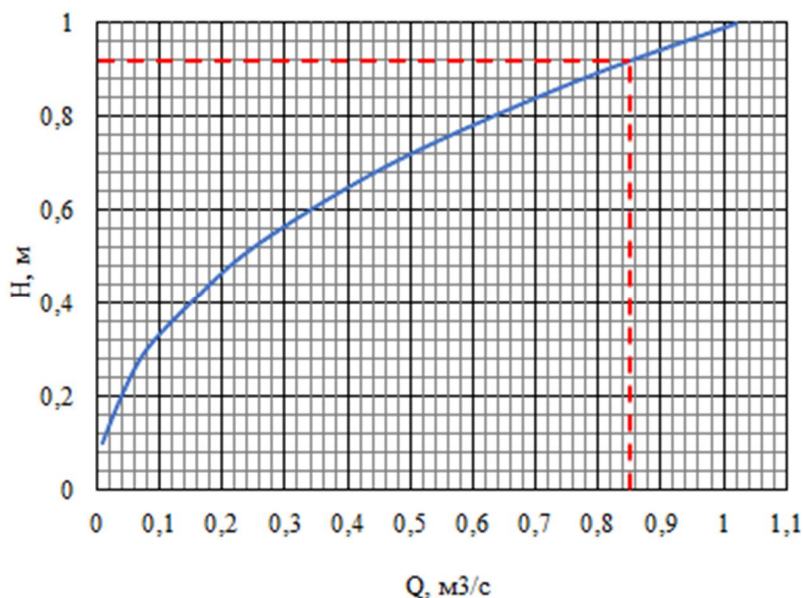


Рисунок 2.8. Кривая зависимости расходов воды от уровней $Q = f(H)$

При выборе размера и угла выреза водослива требуется соблюдение следующих критериев: напоры на гребне

водослива при прохождении $Q_{\max}$ не должны быть более 1 м, а при прохождении $Q_{\min}$ — менее 0,05 м.

Расход воды, протекающей через треугольный водослив, определяется по формуле 2.2

$$Q = \frac{8}{15} \mu \sqrt{2g} \operatorname{tg} \theta - \frac{\theta}{2} h^{5/2} \quad (2.14)$$

где μ — коэффициент расхода, равный 0,58-0,59. g — ускорение свободного падения, м/с^2 ; θ — угол выреза водослива, град.; h — напор на водосливе, м.

Коэффициент расхода зависит от угла выреза и принимается согласно таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Значения коэффициента расхода в зависимости от угла

$\theta, ^\circ$	60	90	120
μ	0,577	0,578	0,587

С целью выбора параметров водослива производится последовательное вычисление расхода воды, проходящее через водослив с углом выреза 60° , при изменении напора с шагом 0,05 м. Результаты записываются во вспомогательную таблицу (таблица 2.4). Расчет повторяется для углов выреза водослива, равных 90° и 120° . Результаты расчетов также записываются во вспомогательные таблицы, составленные по форме таблицы 2.4.

Таблица 2.4 – Вспомогательная таблица для построения зависимости $Q = f(h)$

h	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	...
Q								

По данным вспомогательных таблиц строятся кривые зависимости расхода воды от напора $Q = f(h)$ в водосливе с тонкой стенкой для вырезов 60° , 90° и 120° . С каждой кривой снимаются значения максимальных $h_{\max}$ и минимальных $h_{\min}$ напоров на водосливе, соответствующих заданным максимальным $Q_{\max}$ и минимальным $Q_{\min}$ расходам воды. Пример построения кривых $Q = f(h)$ представлен на рис. 4.10, где также показан способ определения максимальных и минимальных напоров.

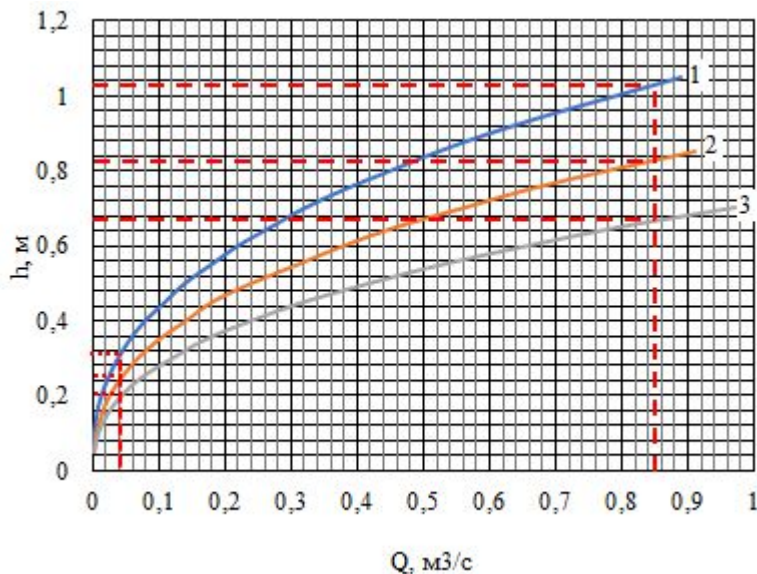


Рисунок 2.9. Кривая зависимости расходов воды от напора на гребне водослива $Q = f(h)$

$$1 - \theta = 60^\circ; 2 - \theta = 90^\circ; 3 - \theta = 120^\circ$$

Полученные величины напоров заносятся в табл. 2.5 и проверяются на соответствие критериям $Q_{\max} \leq 1$ и $Q_{\min} \geq 0,05$ м. В последней графе указывается «выполняется» или «не выполняется» условие. Условие выполняется в том случае, когда оба значения напоров соответствуют указанным критериям

Таблица 2.5. Проверка соответствия напора на гребне водослива условию $0,05 < h < 1,00$ м

$\theta, ^\circ$	$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	$h_{\min}, \text{м}$	$h_{\max}, \text{м}$	условие $0,05 < h < 1,00$
60					
90					
120					

В выводах указывается углы выреза, при которых напоры соответствуют критериям.

Контрольные вопросы

1. Как подразделяются водосливы по форме и размерам сечения порогов (стенок)?
2. Какие формы выреза используются для водослива с тонкой стенкой?
3. Что такое напор на водосливе и в какой части сооружения он измеряется?
4. Какие углы выреза треугольного водослива применяются на практике?
5. Каким образом меняется напор на треугольном водосливе с увеличением угла выреза при пропуске одного и того же расхода воды?

3 Гидрометрические мостики

Гидрометрические мостики относятся к вспомогательным сооружениям. Они строятся в гидрометрических створах для выполнения с них различных гидрометрических работ и обеспечения пешеходной связи между берегами. В этом своем последнем назначении мостики используются не только наблюдателями гидрологических постов, но и населением, что предъявляет к их конструкции особые требования. Мостики должны выдерживать нагрузки, возникающие от бытовых факторов (групп людей и даже от домашних животных), т. е. должны иметь значительный запас прочности, чего не потребовалось бы, если бы мостики служили только гидрометрическим целям. В этих условиях для уменьшения бытовых нагрузок и облегчения, а значит и удешевления гидрометрических мостиков их строят возможно более узкими, шириной 0,8–1,4 м, которой вполне достаточно для выполнения гидрометрических работ.

В конструкции мостиков принято выделять две крупные составные части: *пролетное строение* и *опоры*.

Пролетное строение, соединяя берега водного объекта, обеспечивает выполнение мостиком своих функций. Оно непосредственно воспринимает приходящиеся на мостик нагрузки. В зависимости от конструкции пролетного строения все мостики делят на две большие группы: мостики с жестким пролетным строением и мостики подвесные.

Опоры удерживают пролетное строение, воспринимают от него нагрузку и передают ее грунтам основания. В зависимости от расположения по отношению к водному потоку опоры бывают береговыми (береговые устои) и русловыми или промежуточными (если они из бетона, то

их еще называют быками). Расстояние между осями двух соседних опор называется пролетом. Мостик, имеющий только две опоры, является однопролетным. Если опор больше, то мостик может быть двух, трех и вообще многопролетным. Конструкция опор в первую очередь зависит от особенностей пролетного строения (жесткое или подвесное). Однако любые опоры должны обеспечивать превышение нижней части пролетного строения моста над максимальным расчетным уровнем воды в створе сооружения не менее чем на 0,5–1,0 м. В зависимости от особенностей режима водотока, например, наличия в паводок вырванных со своего места деревьев и плывущих по воде с выступающими из нее ветками и корнями, указанный размер соответственно увеличивается. Необходимо выполнение и еще одного требования, а именно: форсированный уровень воды не должен достигать низа пролетного строения моста.

Гидрометрическая практика отдает предпочтение однопролетным мостикам, так как многопролетные хотя и могут быть использованы для перекрытия значительно более широких гидростворов, но обладают рядом недостатков:

- на глубоких реках русловые опоры получают сложными и дорогостоящими, поэтому экономически целесообразно многопролетные мостики использовать только на поймах;
- промежуточные опоры должны противостоять действию льда и других предметов, которые могут плыть по воде;
- промежуточные опоры искажают течение и затрудняют производство гидрометрических работ.

Основу пролетного строения мостиков с жестким пролетным строением составляют прогоны, которые являются главными несущими элементами мостика.

Известны различные конструкции прогонов, но для гидрометрических мостиков чаще всего применяют балочные прогоны и решетчатые прогоны, называемые также фермами.

Балочный однопролетный гидрометрический мостик состоит из двух прогонов, настила, поперечин, перил и опор.

Прогоны делают из деревянных или металлических балок. Первые применяются для перекрытия пролетов не более 6–8 м, вторые не более 10–12 м.

Настил обычно делают из досок толщиной 45 см. На мостиках с металлическими прогонами настил может быть сделан из железобетонных плит или рифленого металлического листа. Доски настила укладывают не вплотную друг к другу, а с зазором 2,5–3 см для исключения их выпучивания при возможном разбухании от атмосферной влаги. Вдоль настила по краям прикрепляют оградительные бруски, защищающие пешеходов от случайного соскальзывания. Эти же бруски удобно использовать для разметки на них промерных и скоростных вертикалей. Поперечины увеличивают жесткость настила и передают от него нагрузку прогонам. К поперечинам крепятся стойки и подкосы перил. Изготавливают поперечины, как правило, из дерева, однако на мостах с металлическими прогонами они также могут быть металлическими (из мелкого стального фасонного проката: уголков, швеллеров).

Перила являются обязательным элементом гидрометрического мостика независимо от размеров его пролета. На небольших мостиках и неглубоких реках перила могут быть односторонними. Перила делают из дерева, но могут быть и исключения, такие же, как для поперечин. Состоят перила из стоек, подкосов и поручней. Высота перил обычно принимается в пределах 0,9–1,1 м.

Опоры мостика устраивают деревянными или бетонными, при этом первые чаще всего делают свайными, рамными или лежневыми.

Свайная опора состоит из двух свай (диаметром 18–20 см), забитых в грунт на расстоянии между их осями равным расстоянию между продольными осями прогонов. Поверху сваи соединяются бревном или брусом, называемым насадкой, и на нее уже укладываются прогоны.

Рамная опора устанавливается в предварительно отрытый котлован, который затем снова засыпается. Сама опора представляет собой две стойки, снизу опирающиеся на бревно-лежень, сверху связанные насадкой, а по высоте - крестообразными схватками из толстых досок или пластин.

Лежневая опора представляет собой бревно (лежень) длиной 1,2–1,5 м, уложенное на берегу между четырьмя свайками, забитыми в грунт на глубину около 1 м и предохраняющими лежень от различных перемещений.

Бетонная опора представляет собой плиту толщиной 20–30 см. Размеры ее в плане определяются шириной мостика и конфигурацией берегового откоса. Изготавливается она обычно на месте, при этом следует не забывать закладывать в нее металлические болты, штыри или скобы, к которым будут крепиться прогоны. Не исключено использование в качестве опор и различных готовых железобетонных плит, изготавливаемых на специализированных предприятиях.

Выбор типа опоры зависит от наличия строительного материала, а также от местных условий, в частности от характера почвогрунтов, которые могут допускать, а могут и не допускать забивку свай на нужную глубину. В целях сокращения пролета мостика его береговые опоры не

следует удалять от уреза максимального расчетного уровня воды более чем 1–2 м.

Решетчатый мостик имеет два прогона из плоских металлических ферм с той или иной геометрической схемой их решетки. На уровне нижних поясов фермы связаны между собой поперечинами, по которым, как и в балочном мостике, проложен настил. Жесткость мостика усилена системой раскосов и подкосов. Обратим внимание, что в рассматриваемых мостиках фермы являются не только несущими элементами-прогонами, но и выполняют роль перил.

Решетчатые мостики представляют собой прочные и достаточно легкие сооружения, поэтому могут быть использованы для перекрытия пролетов значительно больших, чем те, которые перекрываются балочными мостиками. В настоящее время однопролетные решетчатые гидрометрические мостики рекомендуется делать длиной до 24 м. Опоры рассматриваемых мостиков устраивают из бетона или железобетона в виде плит или блоков.

Основу пролетного строения мостиков с подвесным пролетным строением составляют два стальных каната, натянутых через реку параллельно гидрометрическому створу (рис. 3.1). Расстояние между канатами в плане равно выбранной ширине мостика. В целях установки пролетного строения на необходимой высоте канаты перебрасываются через имеющиеся на обоих берегах опоры. Концы канатов закрепляются в специальных, находящихся в земле устройствах, называемых якорями (или анкерами). Кроме канатов в состав пролетного строения рассматриваемых мостиков входят подвески, поперечины и настил.

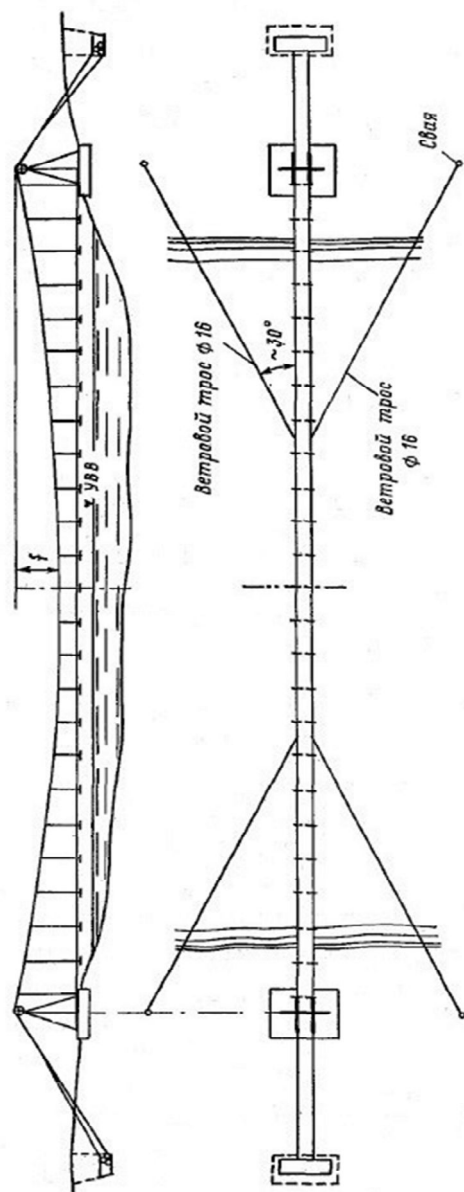


Рис. 3.1. Продольный разрез и план подвесного гидрометрического мостика

Подвески делают из толстой стальной проволоки диаметром 8–12 мм или гибкими из тросика диаметром 3–

5 мм. Верхними концами подвески крепятся к несущим канатам на расстоянии 1–2 м друг от друга. Количество и местоположение подвесок на обоих канатах одинаковое. Каждые две подвески, расположенные друг против друга на соседних канатах, образуют пару, к нижним концам которой прикрепляется поперечина. По поперечинам прокладывается настил. Конструкции поперечин и настила у подвесных мостиков и мостиков с жестким пролетным строением, в принципе, одинаковые.

Якоря удерживают всю висячую конструкцию. Выдерживающим усилиям со стороны канатов они сопротивляются, используя в основном отпор со стороны грунта, в который они зарываются, а также благодаря своему весу и весу находящейся на них земли. На каждом берегу устраивается по одному якорю и к нему крепятся оба каната подвесного мостика. Якоря бывают бетонные и деревянные.

Первые имеют форму параллелепипедов с размерами и глубиной погружения в землю, определяемыми при расчете их устойчивости (рис. 3.2). Из якоря выходят на поверхность земли два стальных тяжа, имеющие на концах петли (или отверстия), в которые запасовываются несущие канаты моста. Пройдя сквозь тяжи, концы канатов загибаются обратно (в сторону моста) и скрепляются каждый со своим канатом с помощью, образуя петли. Чтобы в местах соединения тяжа и каната перегиб каната не был очень резким и не привел бы к перелому образующих его проволок, под канат подкладывают специальные закругляющие элементы, называемые. Размеры коушей и сжимов, а также количество сжимов, устанавливаемых на одно соединение, зависят от диаметра каната и определяются по специальным таблицам.

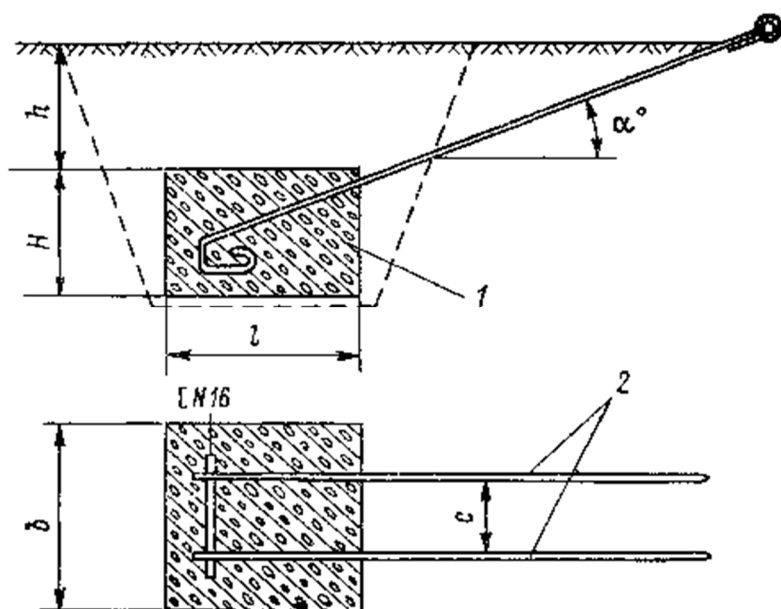


Рис. 3.2. Бетонный якорь.

1— якорь; 2— стальные тяги; с— расстояние между несущими канатами мостика.

Деревянный якорь представляет собой пакет из 3–4 бревен ("мертвяков"), соединенных между собой проволочными скрутками (рис. 3.3). На этот пакет одеваются нижние петли тяжей из круглой стали и якорь закапывается на глубину 2,5–3,0 м. Для увеличения сопротивления сдвигу и выдергиванию якорь прикрывают сверху и сбоку со стороны моста щитами из тонких бревен.

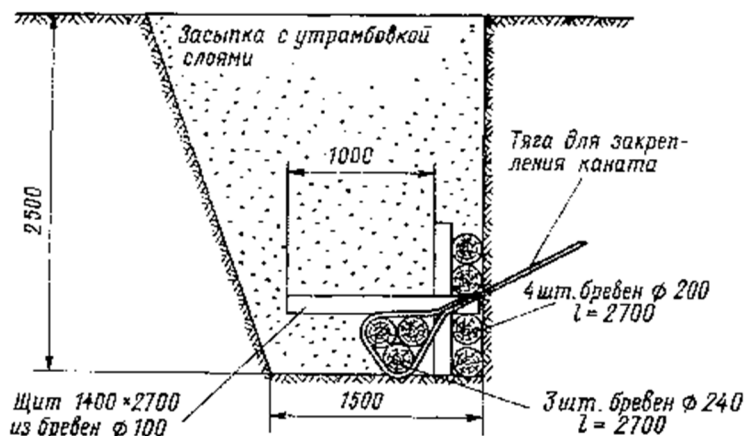


Рис. 3.3. Пример конструкции деревянного якоря

Если гидроствор, в котором устанавливается мостик, имеет крутые скальные берега (или хотя бы один такой берег), то якоря в них делаются бетонными с использованием стальных закладных частей. В указанных условиях пролетное строение мостика подвешивается непосредственно к якорям.

Опоры подвесных мостиков делают деревянными (рис. 3.4) и металлическими из фасонного стального проката, труб, рельсов (рис. 3.5). Основными составными элементами опор являются вертикальные стойки и наклонные подкосы. В верхней части каждой опоры в обязательном порядке устанавливаются два уравнильных ролика, через которые перекидываются несущие канаты. Высота опор зависит от значения той отметки, на которой должен располагаться низ пролетного строения моста. В гидростворах с разновысокими берегами опоры мостиков могут быть разной высоты и иметь как одинаковые, так и различные отметки роликов на разных берегах реки. Но горизонтальное положение настила даже в последнем случае должно сохраняться (рис. 3.6).

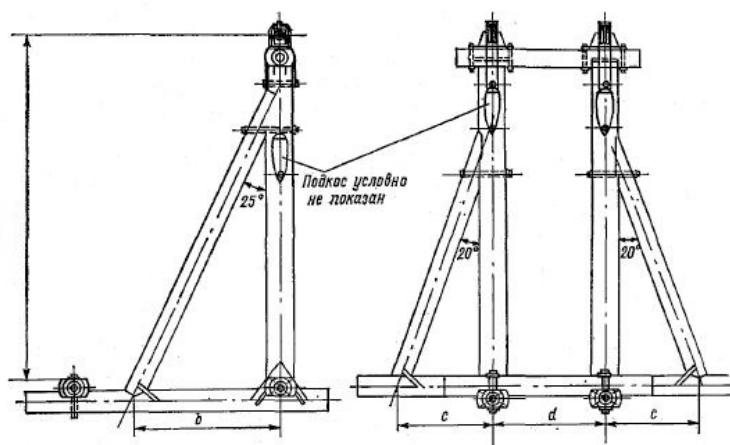


Рис. 3.4. Опоры подвесного мостика из бревен

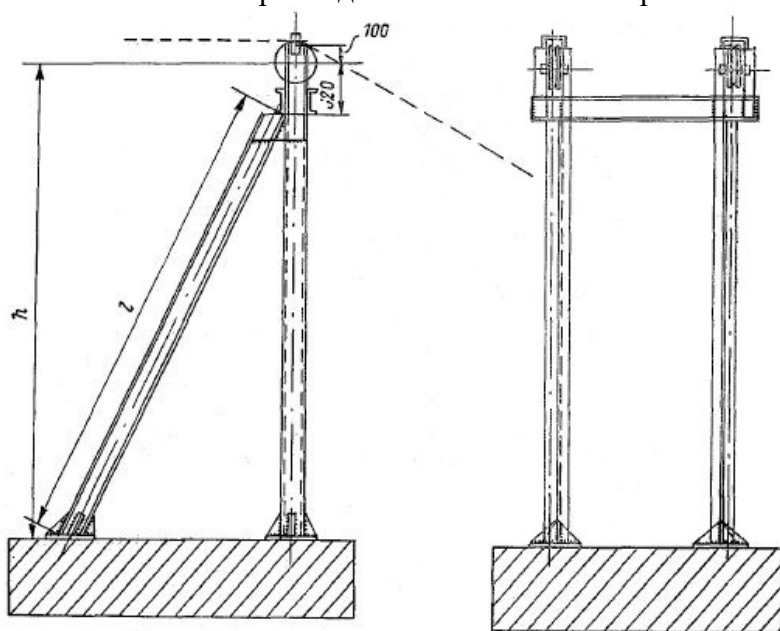


Рис. 3.5. Опоры подвесного мостика из металла

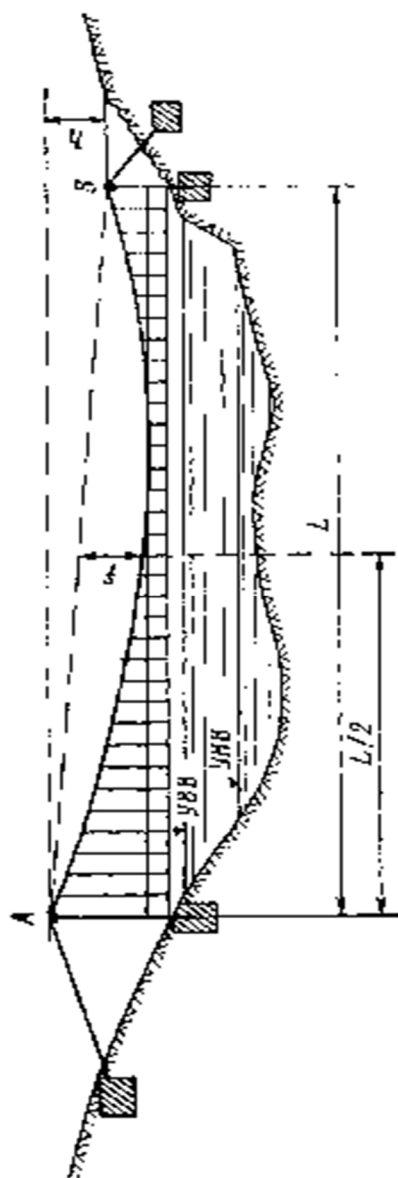


Рис. 3.6. Схема подвесного мостика с разновысокими опорами

Важной характеристикой мостика является стрела провеса f —наибольшее расстояние от линии, соединяющей опоры, до несущего каната (см. рис. 3.6). С уменьшением f возрастает устойчивость мостика (меньше раскачивается), уменьшается высота опор, но одновременно увеличивается усилие в канате, что требует применения канатов большего диаметра. Для гидрометрических мостиков f обычно назначается в диапазоне $1/25$ – $1/30$ пролета мостика.

Регулируется стрела провеса на мостике с помощью винтовых стяжных устройств, называемых талрепами (рис. 3.7). Талреп устанавливается между тягой якоря и несущим канатом. На мостиках пролетом до 50 м ограничиваются талрепами только на одном берегу; при больших пролетах талрепы требуются с каждой стороны моста, т. е. их ставят 4 шт.

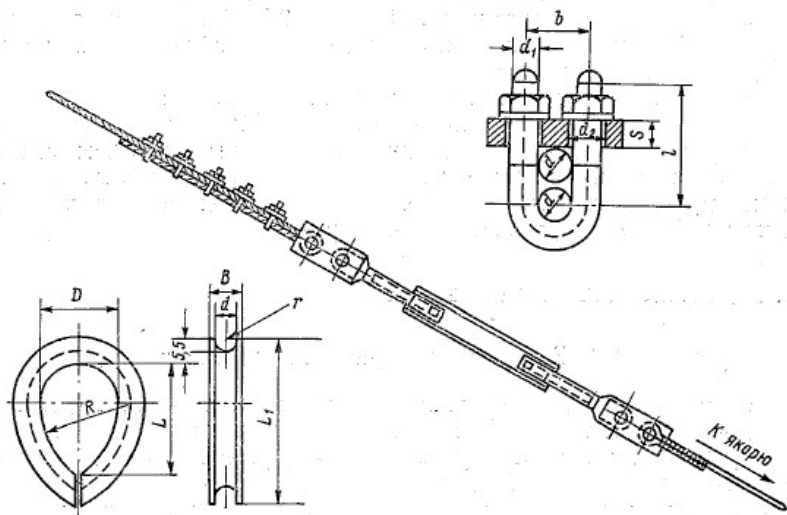


Рис. 3.7. Устройства для крепления и натяжения канатов. Сжим, талреп, коуш.

Для придания мостику большей устойчивости от раскачивания его ветром в конструкцию сооружения могут быть введены ветровые растяжки из троса диаметром около 6 мм. В средней части пролетного строения эти тросы идут под поперечинами и параллельно несущим канатам. На расстоянии, приблизительно равном $1/3$ пролета от опор, они отведены в стороны от мостика под углом около 30° к его продольной оси, натянуты и закреплены концами за береговые сваи.

Другой способ увеличения жесткости подвесного моста заключается в применении в его конструкции балочных прогонов, которые крепятся на нижних концах подвесок параллельно несущим канатам, а затем на них укладываются поперечины и настил, как в обычном балочном мостике.

Для безопасного использования мостика он должен иметь перила. Там, где несущие канаты проходят на расстоянии около 1 м ют настила, они одновременно выполняют и роль перил. Ближе к опорам эти канаты поднимаются иногда выше человеческого роста и здесь уже требуется специальное ограждение. В простейшем случае оно может быть выполнено из тонкого тросика, натянутого между подвесками на высоте 0,9–1,1 м параллельно пастилу. Делают и деревянные поручни, стойками для которых также служат подвески.

Подвесные гидрометрические мостики рекомендуется применять для перекрытия пролетов до 100–120 м. Минимальный пролет может быть любым. Однако следует иметь в виду, что всюду, где есть возможность построить мостик с жестким пролетным строением, ему следует отдавать предпочтение перед подвесным, как более удобному и безопасному в эксплуатации.

Канаты подвесных гидрометрических мостиков рассчитываются на равномерно распределенную нагрузку q кН/м погонной длины, которая складывается из

собственного веса каната (перед расчетом он ориентировочно задается) и усилия, передаваемого на канат через подвески. (Последнее усилие не является в прямом смысле распределенным, так как подвески крепятся к канату на некотором расстоянии друг от друга, т. е. передают сосредоточенные силы, но сделанное допущение значительно облегчает расчет и несущественно влияет на его точность).

На рис. 3.8 изображена схема каната подвесного мостика между опорами, причем показан вариант, когда вершины опор расположены на разных отметках и разница между ними составляет h м.

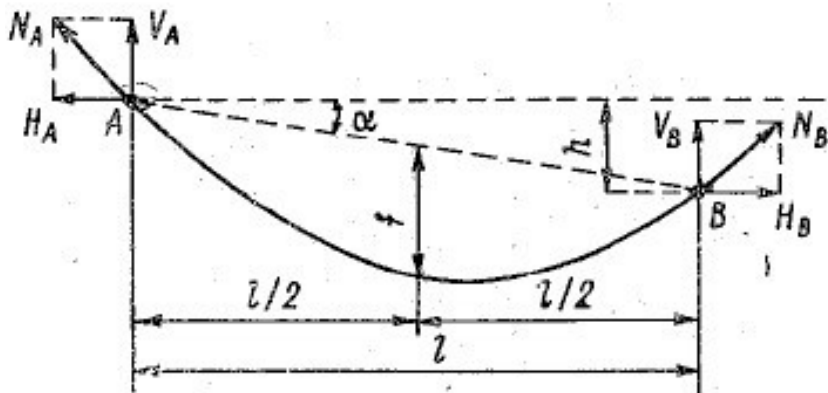


Рис. 3.8. Схема к определению усилий в несущем канате подвесного мостика

Усилие N , возникающее в канате под действием нагрузки q , может быть на каждой опоре разложено на горизонтальную и вертикальную составляющие (на левой опоре это силы H_A и V_A , а на правой соответственно H_B и V_B). Для определения этих опорных реакций применяются уравнения равновесия.

Так, приравнивание к нулю суммы проекций всех сил на ось x дает:

$$\sum x = 0, \quad -H_A + H_B = 0, \quad H_A = H_B = H \quad (3.1)$$

Из условия равенства нулю суммы моментов всех сил относительно точек подвеса получим:

$$V_A = \frac{ql}{2 \cos \alpha} + H \operatorname{tg} \alpha \quad (3.2)$$

$$V_B = \frac{ql}{2 \cos \alpha} - H \operatorname{tg} \alpha \quad (3.3)$$

Далее можно показать, что горизонтальная составляющая опорных реакций H равна:

$$H = \frac{ql^2}{8f \cos \alpha} \quad (3.4)$$

Из формул (3.1) и (3.2) очевидно, что суммарное усилие в канате N на вышерасположенной опоре будет больше, чем на нижерасположенной. Поэтому усилие, величина которого определяется как

$$N_A = \sqrt{H^2 + V_A^2}, \quad (3.5)$$

является исходным для подбора диаметра каната.

В вычисленное по формуле 3.4 значения усилия в канате вводится коэффициент запаса k_3 , учитывающий условия работы каната и ответственность конструкции. Для гидрометрических сооружений k_3 принимают не менее двух. Таким образом получают расчетное усилие

$$N_{\text{расч}} = k_3 N \quad (3.6)$$

Затем из сортамента на канаты стальные выбирают диаметр каната, у которого разрывное усилие имеет минимальное превышение над $N_{\text{расч}}$.

Обратим внимание на следующее немаловажное обстоятельство. Если вершины мостовых опор находятся на одной отметке, а в большинстве случаев именно так и бывает, то приведенные выше формулы значительно упрощаются, принимая вид:

$$V_A = \frac{ql}{2} \quad (3.7)$$

$$H = \frac{ql^2}{8f} \quad (3.8)$$

Расчет якорей подвесных гидрометрических мостиков, люлечных, паромных и лодочных переправ выполняют с целью оценки их устойчивости под действием усилий со стороны несущих канатов мостиков (см. рис. 3.6) или ездовых канатов переправ. Расчет якорей мостиков и переправ производится одинаково. Рассмотрим методику такого расчета на примере бетонного якоря, изображенного на рис. 12.5. Размеры якоря, глубина его заложения и угол наклона тяг α , к которым крепятся канаты, известны.

Устойчивость якоря проверяют на сдвиг и выдергивание. Сдвинуться он может под влиянием горизонтальной составляющей $N_{\text{г}}$ натяжения двух канатов ($2N$), а выдернуть его может вертикальная составляющая $N_{\text{в}}$.

Кроме усилия от канатов к якорю приложены следующие основные силы: собственный вес якоря $G_{\text{я}}$, вес грунта над якорем $G_{\text{гр}}$, сила трения по площади основания якоря $F_{\text{тр}}$, активное давление грунта на заднюю грань якоря $E_{\text{а}}$, пассивный отпор грунта по передней грани якоря $E_{\text{п}}$.

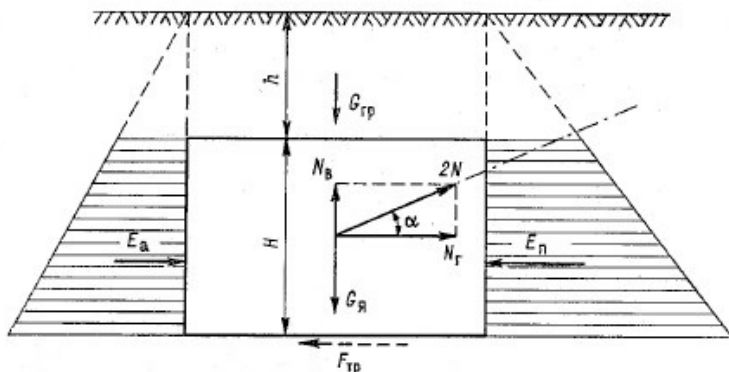


Рис. 3.9. Схема к расчету устойчивости якоря

Рассмотрим, как находить значение этих сил. Вес якоря и грунта определяется элементарно. Горизонтальная и вертикальная составляющие натяжения канатов соответственно равны:

$$N_{\text{г}} = 2N \cos \alpha; \quad N_{\text{в}} = 2N \sin \alpha, \quad (3.9)$$

где N – усилие в канате, рассчитанное по формуле (3.5)
Силу трения находим как:

$$F_{\text{тр}} = (G_{\text{я}} + G_{\text{гр}} - N_{\text{в}})f, \quad (3.10)$$

где f – коэффициент трения.

Активное давление грунта вычисляем по формуле:

$$E_{\text{а}} = \left(\frac{\gamma}{2} \right) (H^2 + 2Nh) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) b, \quad (3.11)$$

где γ – объемный вес грунта, кН/м^3 ; φ – угол внутреннего трения (приложение); b – ширина якоря, м.

В отличие от активного давления грунта, которое возникает, когда конструкция (стенка, якорь) стремится отодвинуться от грунта, пассивный отпор имеет место в том случае, когда конструкция под влиянием какой-то силы (например, N_r) стремится надвинуться на грунт. Рассчитывают E_n по формуле:

$$E_n = \left(\frac{\gamma}{2} \right) (H^2 + 2Hh) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) b \quad (3.12)$$

Устойчивость якоря на сдвиг оценивается по коэффициенту устойчивости на сдвиг $k_{сдв}$, который имеет вид:

$$k_{сдв} = \frac{F_{тр} - E_n}{N_r + E_a} \geq 1,1 \div 1,2 \quad (3.13)$$

Устойчивость якоря на выдергивание оценивается коэффициентом устойчивости на выдергивание $k_{выд}$, представляющим собой, как и рассмотренные выше коэффициенты устойчивости, отношение сил, удерживающих тело, к силам, вызывающим возмущение:

$$k_{выд} = \frac{G_{гр} + G_{я}}{N_b} \geq 1,1 \div 1,2 \quad (3.14)$$

Лабораторная работа 3

«Расчет каната подвешенного гидрометрического мостика»

Цель работы: определить диаметр и маркировочную группу каната подвешенного гидрометрического мостика.

Для выполнения расчетов в Приложении 3 представлены следующие исходные данные:

- длина пролёта, l , м;
- превышение вершины опоры А над вершиной опоры В, h , м;
- распределённая нагрузка на метр каната, q , кг/м;
- стрела провеса, f , м.

В лабораторной работе должна быть представлена следующая схема к определению усилий в несущем канате подвесного мостика

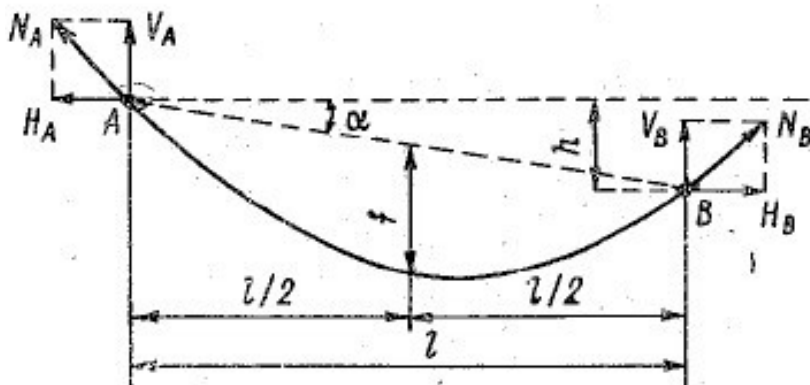


Схема к определению усилий в несущем канате подвесного мостика

1. Рассчитываем горизонтальную составляющую растягивающей силы. Поскольку сумма проекций всех сил на ось x равна нулю (см. уравнение 3.1), горизонтальная составляющая растягивающей силы будет одинакова в точках А и В. Она определяется по формуле

$$H = \frac{ql^2}{8f \cos \alpha} \quad (3.15)$$

где

$$\cos \alpha = \pm \sqrt{\frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} \quad (3.16)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{L} \quad (3.17)$$

2. Определяем вертикальные составляющие растягивающей силы

$$V_A = \frac{ql}{2 \cos \alpha} + H \operatorname{tg} \alpha \quad (3.18)$$

$$V_B = \frac{ql}{2 \cos \alpha} - H \operatorname{tg} \alpha \quad (3.19)$$

3. Определяем растягивающую силу каната (суммарную нагрузку)

$$N_A = \sqrt{H^2 + V_A^2} \quad (3.20)$$

4. Рассчитываем разрывное усилие

$$N_{\text{расч}} = k_3 N \quad (3.21)$$

где коэффициент запаса k_3 принимаем, равным 2,5.

Поскольку разрывное усилие получено в килограммах, то для перехода в ньютонны данное значение необходимо умножить на 9,8.

Затем из сортамента на канаты стальные ГОСТ 2688-80 (Приложение 5) выбираем диаметр каната, у которого разрывное усилие имеет минимальное превышение над $N_{\text{расч}}$.

В выводах указываем диаметр каната и маркировочную группу.

Контрольные вопросы

1. Что такое пролетное строение гидрометрического мостика?

2. На какие группы делят все гидрометрические мостики в зависимости от конструкции пролетного строения?

3. Какую функцию в подвесном гидрометрическом мостике выполняют якоря?

4. Что такое стрела провеса подвесного гидрометрического мостика?

Каким образом подбирают диаметр каната подвесного гидрометрического мостика?

4 Орошение дождеванием

Одним из основных видов мелиорации является орошение, представляющее собой комплекс мероприятий по поддержанию водного режима почв, оптимального для растений, испытывающих в естественных условиях недостаток влаги. Орошение включает комплекс технических, агротехнических, организационно-хозяйственных мероприятий, в основе которых лежат гидротехнические приёмы нормирования подачи воды в почву и превращения её в почвенную влагу.

Орошение производят разными способами, в соответствии с которыми различают: самотечное поверхностное орошение, дождевание, подпочвенное и капельное орошение.

Дождевание — это способ полива сельскохозяйственных культур, при котором вода разбрызгивается в виде дождя. Оросительные системы, в которых почву увлажняют с помощью дождевальных машин или установок, называют *дождевальными*. Дождевальные системы могут быть *стационарными*, *полустационарными* и *передвижными*. В передвижных системах вся оросительная сеть, включая подводящие и водозаборные устройства, во время поливов перемещается с одного места на другое. В полустационарных системах перемещаются только дождевальные устройства или еще какие-либо элементы подводящей сети. В стационарных системах положение всех элементов неизменно.

При орошении дождеванием вода к полям может подаваться по закрытой (трубам) или открытой (каналам, лоткам) сети. В последнем случае система орошения состоит из тех же частей, что и при поверхностном орошении, причем эта идентичность сохраняется вплоть до временных оросителей. Из оросителей вода забирается дождевальными машинами и разбрызгивается по площади

поливного участка в виде искусственного дождя. В процессе производства полива машина может или медленно двигаться вдоль временного оросителя, или работать позиционно, т. е. полив некоторую площадь из одной точки, затем переместиться в другую и т. д., пока не будет произведено орошение всей необходимой территории. Дождевальные машины, работающие на открытой сети, в конструктивном отношении отличаются большим разнообразием, но наибольшее распространение имеют агрегаты, состоящие из гусеничного трактора со смонтированными на нем насосом и дождевальной установкой того или иного типа, непосредственно разбрызгивающей воду.

Если вода на оросительную систему подается по закрытой сети, то для возможности подключения к ней соответствующих дождевальных машин на трубах сети, расположенных в пределах поливных участков, устраиваются *гидранты*. В случае полустационарной оросительной системы одну и ту же дождевальную машину перемещают по орошаемому полю, поочередно подключая ее к разным гидрантам и поливая каждый раз участки площади, находящиеся в зоне действия машины. В случае же стационарной системы каждый гидрант снабжается дождевальной насадкой, через которую и производится полив примыкающей к гидранту территории (часто такие насадки делают вращающимися вокруг вертикальной оси, и тогда поливаемая одной насадкой территория имеет форму круга с гидрантом в центре).

Несмотря на то, что применение дождевальных машин позволяет более точно дозировать и экономнее расходовать воду, чем при поверхностном орошении, на дождевальных оросительных системах также приходится устраивать водосборно-сбросную, а иногда и дренажную сеть.

Закрытые дождевальные оросительные системы могут быть полностью автоматизированы, что позволяет с их помощью систематически регулировать не только увлажнение почвы, но и воздуха, создавая оптимальные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур и повышения урожая.

Достаточная степень регулирования микроклимата на полях при дождевании достигается при проведении частых поливов малыми поливными нормами, когда увлажняются только растения и поверхность почвы. При таком орошении увеличивается влажность воздуха и снижается его температура за счет испарения воды с влажной поверхности растений и почвы. Чтобы растения и почва в течение всего вегетационного периода в жаркое время находились во влажном состоянии, частота поливов должна определяться интервалами времени, за которые вода испаряется с поверхности растений. В некоторых случаях эти интервалы могут составлять только 15 – 20 мин. Число поливов при этом составляет 20 раз и более в сутки и 1000 – 2000 раз за сезон при суточном расходе воды до 80 – 100 м³/га. При таком дождевании не образуется поверхностного стока даже при поливах на тяжелых почвах.

Существует множество дождевальных установок.

ДДА-100МА — двухконсольный дождевальный агрегат (рис. 4.1). Основными составляющими этой машины являются трактор ДТ-75М, пространственная ферма с нижними поясами из труб, рама для крепления фермы на тракторе и насосная установка. Кроме того, в составе ДДА есть гидросистема управления, гидроподкормщик и система освещения для работы в ночное время.

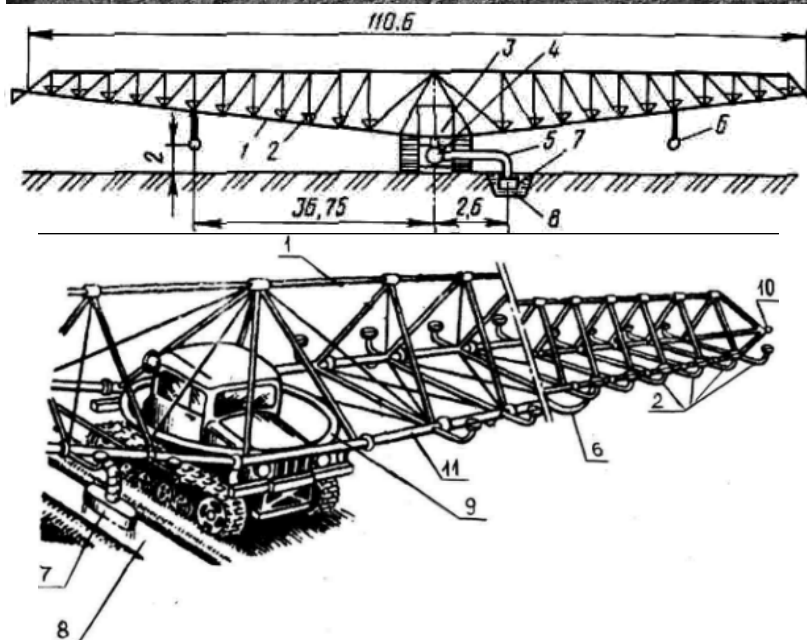
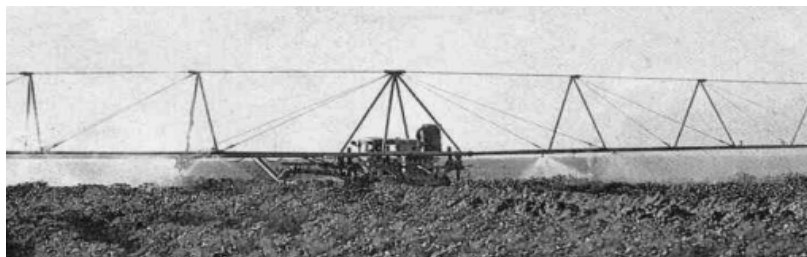


Рис. 4.1 - Двухконсольный дождевальный агрегат ДДА-100МА: *а* — общий вид в работе; *б, в* — схема агрегата (размеры в м); 1 — ферма; 2 — короткоструйные дефлекторные насадки на открывках; 3 — напорный патрубок; 4 — консольный центробежный насос; 5 — всасывающая линия; 6 — дуга-амортизатор; 7 - всасывающий клапан; 8 — ороситель; 9 — поворотный круг; 10 — концевой дождевальный аппарат; 11 — водопроводящая труба.

Всасывающая линия насосной установки, имеющая плавающий клапан с сеткой на одном конце и противовес на другом, с помощью гидроцилиндра опускается в канал - временный ороситель с глубиной наполнения не менее 0,35 м. Насос заливается водой газоструйным вакуум-аппаратом, работающим на выхлопных газах дизеля трактора, и после включения его в работу из кабины трактора насос подает воду в трубы фермы.

Машину ДДА-100МА лучше использовать для полива культур узкорядного сева, не требующих перекрестной обработки, которую затрудняют оросители. В то же время малая крупность капель позволяет поливать все культуры, включая цветы, рассаду, ягодники. Производительность машины достаточно велика: при $m = 600 \text{ м}^3/\text{га}$ — около 0,6 га за 1 час чистой работы; сезонная нагрузка на машину - до 150 га.

Недостатками ДДА являются потери воды на фильтрацию из оросителей, густая сеть оросителей с сооружениями и переездами через них, малый коэффициент земельного использования (около 0,95), большая масса машины (10,8 т) и удельное давление ходовой части на грунт (0,07 Мпа).

ДДН-70 — дальнеструйная дождевальная навесная машина (рис. 4.2). Все машины типа ДДН имеют схожие конструктивные схемы и отличаются в основном своими параметрами. Главные узлы машин — это навесная рама; карданный вал, ведущий от двигателя трактора к поливному оборудованию; насос-редуктор с всасывающей линией; дальнеструйный дождевальный аппарат; механизм вращения аппарата от ведущего вала насос-редуктора, обеспечивающий полив по кругу и по сектору. Машины снабжены устройствами для подъема и опускания всасывающей линии — тросовая лебедка; газоструйным вакуум-аппаратом для заполнения насоса водой перед пуском; баком-подкормщиком.

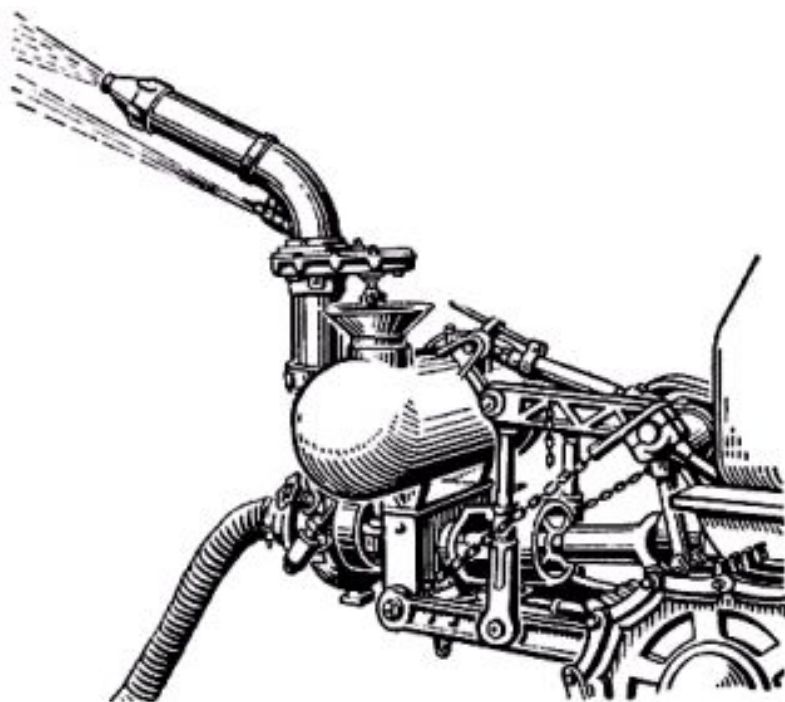


Рис. 4.2 – Дальнеструйная дождевальная навесная машина

Машина ДДН–70 агрегатируется с трактором ДТ–75М (рис. 4.3). Дождеватель имеет два сопла, меньшее из которых снабжено разбрызгивающей лопаткой, разрушающей часть малой струи; количество дождя вблизи аппарата может регулироваться изменением положения лопатки.

К достоинствам машин ДДН относятся достаточно высокая производительность при хороших маневренности и проходимости (удельное давление ходовой части на грунт — 0,0047 Мпа).

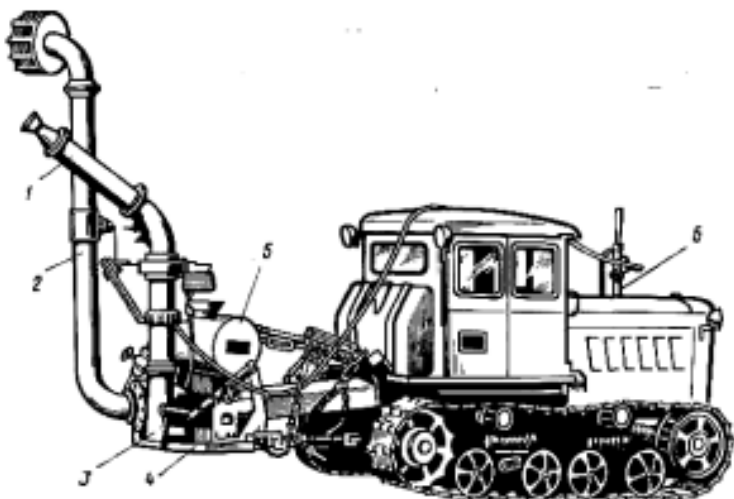


Рис.4.3 – ДДН-70:

1 — ствол дальнеструйного дождевального аппарата; 2 — всасывающий трубопровод; 3 — насос-редуктор; 4 — рама; 5 — приспособление для внесения удобрений; 6 — газоструйный вакуум-аппарат.

Некоторые недостатки машин ДДН аналогичны всем струйным дождевателям кругового действия, а именно: переполив в зонах перекрытий, необходимость перехода на секторный полив при скорости ветра более 2–3 м/с и полное прекращение полива при ветре более 4–5 м/с. Специфическим недостатком машин ДДН является большая крупность капель: для основных сопел $H/d=1000-1200$ и диаметры отдельных капель превосходят 3 мм - такие капли могут побивать молодые и нежные растения.

ДКШ-64 «Волжанка» — дождевальный колёсный широкозахватный трубопровод. Прототипом «Волжанки» является американский передвижной трубопровод «Шур-Ролл». Отечественный вариант машины представляет собой два поливных крыла, каждое в виде трубопровода со среднеструйными дождевателями, который является осью колес (рис. 4.4). «Волжанка» — машина позиционного

действия, работает от гидрантов на стационарных подземных либо разборных переносных трубопроводах; расстояние между гидрантами — 18 м.

Узел присоединения каждого крыла к гидранту включает в себя соединительный патрубок с уплотнением и фиксирующим крючком; гибкий шланг; телескопическую трубу, выдвигаемую из основного трубопровода и также фиксируемую крючком и подвижным хомутом, и складную опору телескопа. В транспортном положении гибкий шланг с патрубком и стойка опоры прикреплены резиновым ремнем к телескопу, который частично утоплен в трубопровод машины.

Поливной трубопровод состоит из алюминиевых труб диаметром 130 мм и длиной по 12,6 м с фланцевыми соединениями. В каждом фланце имеется по два отверстия, на одном из которых монтируется дождевальная аппаратура, а на другом — сливной клапан. Клапаном служит специальная резиновая пластинка, которая перекрывает сливное отверстие при повышении давления в трубопроводе и открывает его при падении напора для сброса воды при переходе машины на новую позицию.

Среднеструйные аппараты ДКШ-64 оборудованы специальными системами самоустановки, содержащими противовес и обеспечивающими вертикальное положение стволов аппаратов при повороте колес и трубопровода (при смене позиции).

Машина ДКШ имеет 6 модификаций с шириной захвата крыла от 150 до 400 м. Машина может успешно использоваться для полива низкостебельных культур (высотой примерно до 1 м) при следующих условиях: спокойном рельефе и общем уклоне местности до 0,02; на грунтах, допускающих удельное давление колес около 0,05 Мпа; при скорости ветра до 5 м/с.

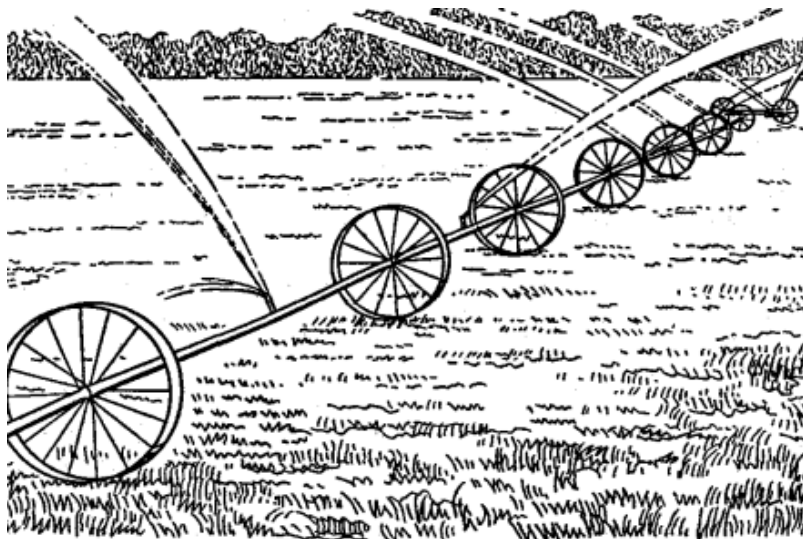


Рис. 4.4 – Дождеватель колесный широкозахватный ДКШ-64 «Волжанка».

К недостаткам машины относятся:

- отставание крайних колес и необходимость накатывать их вручную через каждые 150–400 м;
- невозможность использования на небольших участках и полива всей площади больших полей неправильной формы (общие недостатки всех многоопорных широкозахватных машин), а также полива высокостебельных культур;
- образование колеи за каждым колесом, которая у ДКШ имеет ширину 15–20 и глубину до 10 см.

ДМ «Фрегат» — самоходная дождевальная машина. представляет собой трубопровод со среднеструйными дождевальными аппаратами, расположенный на опорах - тележках и вращающийся вокруг неподвижной оси — гидранта (рис. 4.5). Разные модификации машины имеют от 7 до 20 опор с расстояниями между ними 24,7 и 29,6 м.

Стальной оцинкованный трубопровод машины, установленный на высоте 2,2 м от земли, имеет до 7-ой

опоры диаметр 178 мм, а затем – 152 мм. Вода в трубопровод подается чаще всего от гидранта на закрытой оросительной сети, но может поступать и из скважины с погружным насосом. Стояк гидранта усиливается металлической рамой, закрепленной на бетонном фундаменте, и имеет в верхней части поворотное колено, которое может вращаться вокруг вертикальной оси в горизонтальной плоскости и с помощью фланцев соединяться с трубопроводом машины.

В каждом пролете водопроводящего пояса «Фрегата» установлено по три среднеструйных аппарата, а в первом пролете, у опоры, и на консоли — по два. Расстояния между аппаратами 8,2 и 9,9 м. Каждый аппарат при вращении машины орошает кольцо примерно одинаковой ширины, но разной площади, пропорциональной расстоянию от центральной опоры.

Расходы аппаратов по мере удаления от гидранта должны возрастать и могут быть рассчитаны по зависимости

$$q_i = \frac{2Qb_i r_i}{R^2}, \quad (4.1)$$

где Q и R - соответственно расход и длина машины; b_i и r_i — ширина орошаемой полосы (полусумма расстояний до соседних аппаратов) и удаленность от гидранта i -того аппарата.

Таким образом, в машине «Фрегат» приходится использовать аппараты 4-х серий с разными диаметрами насадок. На краю консоли установлен концевой аппарат секторного действия с дальностью полета струи 25–35 м, который может автоматически включаться, например, при прохождении углов позиции.

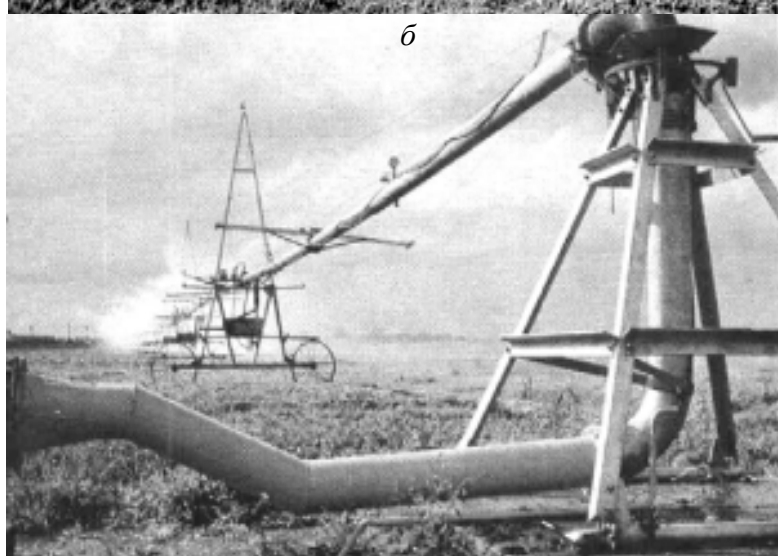
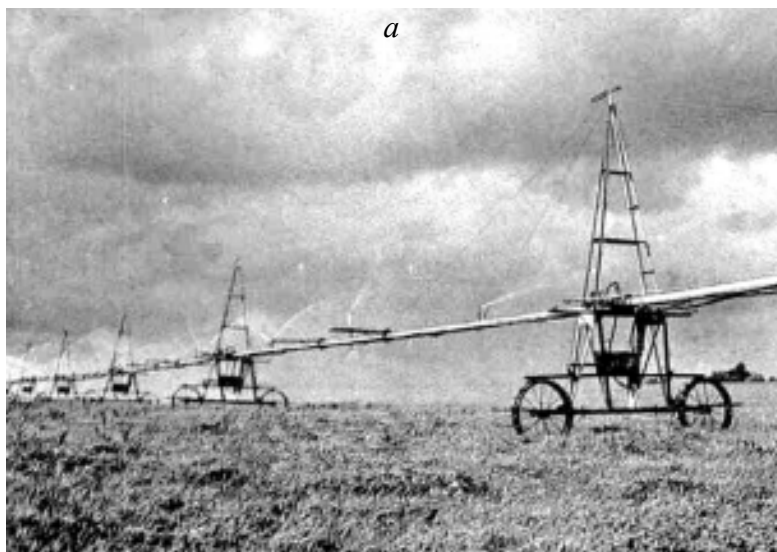


Рис.4.5 – Дождевальная машина «Фрегат». *а* — общий вид;
б — узел подключения

Существует возможность использования машины «Фрегат» с числом опор не более 16 на 2-х смежных позициях. Для перебазировки машины колеса опор

необходимо развернуть на 90° и перемещать трубопровод в продольном направлении трактором - буксировщиком. Практически эта возможность используется очень редко.

«Фрегат» может применяться для полива всех сельскохозяйственных культур, лугов и пастбищ на местности со спокойным рельефом при уклонах до 0,05. Существуют модификации машины с гибкими вставками между пролетами, которые можно использовать на участках со значительными изменениями уклонов внутри них; машины с пневмоколесами для использования на слабых грунтах; а также низконапорные модификации для закрытых систем из асбестоцементных трубопроводов. «Фрегат» — единственная машина, полностью работающая на гидравлическом приводе и позволяющая автоматизировать весь процесс полива.

Кроме недостатков, присущих всем широкозахватным дождевальным машинам, «Фрегату» свойственен еще один существенный минус — неполиваемые углы. Частично этот недостаток устраняется путем включения концевого аппарата только при прохождении машиной угла квадрата. Например, для базовой модели с 16 опорами такая технология полива позволяет уменьшить процент неполиваемой площади примерно с 21 до 13%. Полностью исключить этот недостаток можно только, используя в углах стационарные дождеватели или легкие машины типа *PZT* и *ДДН*. [Орошение дождеванием]

ДД-15 — Дальнеструйный дождевальный аппарат (рис. 4.6) предназначен для полива дождеванием сельскохозяйственных культур, садов, виноградников, ягодников, плодово- и лесопитомников, лугов и пастбищ. Устанавливают их на стояки (гидранты) закрытой оросительной сети или быстроразборных трубопроводов ирригационных комплектов. Аппараты идентичны по конструкции.

Основные узлы: корпус, ствол с коленом и выпрямителем, сменные сопла и механизм вращения ствола.

В верхней части корпуса жестко посажено червячное колесо, в нижней имеется замок для быстросборного соединения со стояком (гидрантом) закрытой оросительной сети. Колено ствола обеспечивает расположение ствола под углом. Круговое движение колена со стволом обеспечивается свободным соединением колена со ступицей червячного колеса корпуса и приводом от турбинки, установленной перед соплом ствола.

Во время работы вылетающая из сопла струя вращает турбинку. Вращение ее через систему редукторов кривошипного и храпового механизмов передается червячному валу, который обкатывается вокруг червячного колеса, закрепленного на корпусе, и приводит во вращение ствол с коленом.

Скорость вращения ствола аппарата регулируют, изменяя величину входа лопаток турбинки в струю воды. Аппарат снабжен устройством для переключения на полив по сектору.

Угол орошаемого сектора изменяют перестановкой упоров на корпусе ствола. Сменные сопла позволяют изменять расход воды и интенсивность дождя.

Аппарат ДД-15 имеет следующие диаметры ствола и сменных сопел :14, 20 и 26 мм. Расход воды 5...15 л/с, давление 0,5...0,7 МПа, радиус действия 30...50 м.

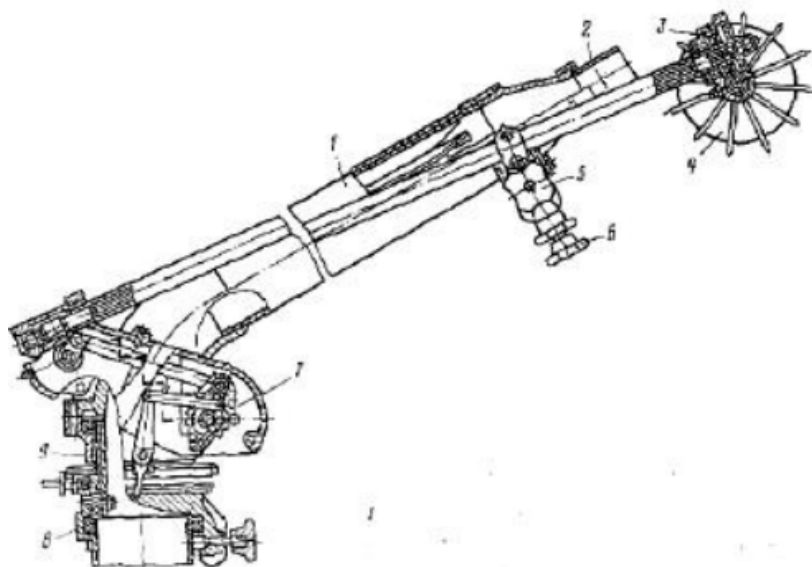


Рис.4.6 – Дальнеструйный дождевальный аппарат ДД-15:
1—ствол, 2—сопло, 3—червячный редуктор, 4—турбинка,
5—стопорный винт, 6—регулирующий винт, 7—
механизм привода, 8—основание, 9—упор.

Сигма-Ирис-50 — дождевальная установка, предназначенная для орошения дождеванием сельскохозяйственных культур, садов, ягодников, плодовых и лесных питомников, лугов и пастбищ.

Состоит из передвижной насосной станции «Ирис-2350-ДПЗ» и переносной среднеструйной дождеальной установки.

Основные узлы насосной станции: двигатель «Зетор-800», насос, повышающий редуктор, всасывающий трубопровод с обратным клапаном в водозаборной коробке, задвижка с напорным патрубком, манометр, эжектор, электрооборудование и автоматическая защита.

Все узлы станции смонтированы на одноосном прицепе с пневматическими шинами. Сверху на раме прицепа

установлен капот из слоистого пластика, снизу — три выдвижные подставки для устойчивости станции во время работы.

Насос центробежный, одноступенчатый с рабочим колесом, насаженным на ведомый вал редуктора. Ведущий вал редуктора соединен с валом двигателя через постоянно замкнутую муфту сцепления. Двигатель дизельный, четырехтактный, с водяным охлаждением и электростартерным запуском.

Автоматическая защита контролирует режимы охлаждения и смазки двигателя, наличие вакуума во всасывающей линии и напор воды в напорной линии насоса. При нарушении нормального режима работы автоматический соленоидный клапан перекрывает подачу топлива к двигателю.

Трубопроводы составлены из шестиметровых алюминиевых труб разных диаметров и водораспределительной аппаратуры с быстроразборными соединениями, допускающими отклонения от продольной оси в любом направлении на угол 15° . Трубы снабжены предохранительными опорами высотой 100 мм.

Дождевальная установка включает магистральный трубопровод длиной 750 м с пятью гидрантами-задвижками, два распределительных трубопровода с восемью гидрантами-задвижками каждый и четыре рабочих трубопровода (дождевальные крылья) с дождевальными аппаратами.

Магистральный трубопровод состоит из труб диаметром 150 и 120 мм. Через гидранты-задвижки и колена «лебединая шея» к нему перпендикулярно с обеих сторон присоединяют распределительные трубопроводы, а к ним — по два дождевальных крыла.

Для образования дождя на каждом крыле устанавливают по четыре среднеструйных дождевальных аппарата ПУК-2.

Одновременно работают два дождевальных крыла (по одному у левого и правого распределительных трубопроводов). По окончании полива прилегающей площади (7,6 га) распределительный трубопровод и дождевальные крылья переносят на новую позицию и присоединяют к следующему гидранту магистрального трубопровода. По дополнительному заказу с установкой поставляют два проточных гидроподкормщика и треноги с удлинителями и стойками дождевальных аппаратов для полива садов и высокостебельных культур.

Основной недостаток таких установок — большие затраты ручного труда на переноску труб и связанная с ними низкая производительность труда.

При установлении числа и сроков поливов необходимо учитывать сроки созревания растений. Чем меньшими нормами, но чаще делаются поливы, тем точнее регулируется водный режим почвы, то есть тем лучше создаваемый режим влаги приближается к необходимому.

Пределы запасов влаги, в которых может колебаться водный режим почвы при прерывистом орошении, зависит от ряда условий.

При максимальном запасе влаги в активном слое почвы должно оставаться определенное количество воздуха, которое необходимо для комфортного течения различных процессов как самих растений, так и почвенных микроорганизмов.

Максимальный запас воды в почве регулируется прежде всего свойством самой почвы — ее потенциальной полевой влагоемкостью.

Влагоемкость почвы (влагоудержание) — это способность почвогрунта вмещать или удерживать при определенных условиях некоторое количество влаги. Она зависит от состояния увлажненности, пористости, температуры почвы, концентрации и состава почвенных растворов, степени окультуренности почвы и др.

Наибольшее количество влаги, которое может содержаться в почве при условии полного заполнения всех пустот и пор, соответствует *полной влагоемкости* $W_{\text{ПВ}}$. В количественном отношении полная влагоемкость соответствует пористости почвы. Зная пористость почвы (% к объему почвы) и ее объемную массу γ (г/см³), можно определить $W_{\text{ПВ}}$ любого почвенного слоя.

$$W_{\text{ПВ}} = P/\gamma \quad (4.2)$$

При полной влагоемкости поры почвы заполняются водой только при очень продолжительном насыщении.

Наименьшая влагоемкость $W_{\text{НВ}}$ — это количество влаги, прочно удерживающееся в почвогрунте после полного свободного стекания гравитационной воды, иными словами это наибольшее количество влаги, которое может удерживать почва за счет капиллярных или менисковых сил.

Когда влажность почвы снижается до 60...70% $W_{\text{НВ}}$, в почве нарушается сплошное капиллярное передвижение воды. Такое состояние влаги в почве называется *влажностью разрыва капилляров* $W_{\text{ВРК}}$. Эта влажность близка к влажности замедленного роста растений и соответствует нижнему пределу оптимальной влажности развития растений. Такое состояние влажности указывает на необходимость проведения полива.

Абсолютно минимальное содержание влаги в почве, до которого никогда нельзя доводить влажность почвы при орошении, определяется как *влажность завядания* $W_{\text{ВЗ}}$. Недоступная для растений влажность почвы зависит от свойств почвы, концентрации почвенного раствора и от вида и возраста растений. Вода может поступать в растение, если осмотическое давление почвенного раствора не будет превышать сосущей силы растений, т.е. осмотического давления их клеточного сока, уменьшенного на 3 атм. Отсюда и определяется

минимальная, недоступная для растений влажность почвы при разных условиях.

Количество воды, используемой в орошаемом земледелии, характеризуется специфическими единицами измерения. Это оросительная норма M , поливная норма m .

Оросительной нормой называют количество воды, которое необходимо подать на 1 га поливной площади, занятой данной культурой, за весь оросительный период ($\text{м}^3/\text{га}$). Оросительная норма определяется из уравнения водного баланса.

Оросительную норму, определяемую из уравнения водного баланса почвы, называют *оросительной нормой нетто* — $M_{\text{нт}}$. Она должна быть использована растением на водопотребление.

Из источника орошения должна быть забрана бóльшая *оросительная норма брутто* $M_{\text{бр}}$ ($\text{м}^3/\text{га}$), которая включает потери воды:

- 1) на глубокую фильтрацию и утечки из проводящей (распределительной) оросительной сети;
- 2) на испарение с поверхности почвы во время полива.

Первый вид потерь воды учитывают КПД оросительной сети η ($\eta=0,5\dots0,9$ для каналов в земляном русле, $0,9\dots0,95$ для бетонированных каналов и $0,95\dots0,98$ для трубопроводов).

Второй вид потерь учитывается коэффициентом потерь $k_{\text{п}}$ ($k_{\text{п}}=1,05\dots1,3$, в зависимости от способа и технологии полива, климатической зоны).

При регулярном орошении оросительную норму обычно дают не в один прием, а разбивают на ряд более мелких поливных норм.

Поливная норма — количество воды (мм), которое подается за один прием для увлажнения расчетного слоя почвы до предельной влагоемкости с целью обеспечения растений доступной влагой.

Поливная норма должна быть такой, чтобы после впитывания она размещалась в порах почвы в пределах так называемого слоя активного влагообмена, или активного слоя почвы, где располагается основная масса корней растений.

Поливные нормы, так же, как и оросительные, бывают нетто и брутто. *Поливная норма нетто* m расходуется непосредственно на водопотребление орошаемых культур.

$$m = W_{\text{ПР. max}} - W_{\text{НО}} \quad (4.4)$$

Чтобы воспользоваться формулой, необходимо знать величину продуктивных максимальных влагозапасов и нижнего оптимума.

$W_{\text{ПР. max}}$ — *продуктивные максимальные влагозапасы* для слоев 0–50 и 0–100 см, также они называются *верхним оптимумом* и означают наибольшее количество влаги, которое почва в природном залегании может удержать в неподвижном или практически неподвижном состоянии после обильного естественного или искусственного увлажнения и стекания влаги.

$$W_{\text{ПР. max}} = W_{\text{НВ}} - W_{\text{ВЗ}} \quad (4.5)$$

$W_{\text{НО}}$ — *нижний оптимум* — это влажность разрыва капилляров, то есть нижний предел оптимальной для растений влажности, ниже которого нарушается сплошность — способность заполнять весь занимаемый объем без пустот и дефектов — движения воды по капиллярам и непрерывное ее поступление к корневым системам.

$$W_{\text{НО}} = W_{\text{ПР. max}} \cdot n_i, \quad (4.6)$$

n_i — относительная величина нижнего оптимума. Снимается с биологических кривых водопотребления и соответствует точке перегиба.

Биологические кривые водопотребления строятся с учетом биологических особенностей определенной сельскохозяйственной культуры. Для каждой фазы развития культуры строится своя кривая. По оси ординат откладываются значения коэффициента водопотребления k_B , который определяется как отношение испарения к испаряемости.

$$k_B = \frac{E}{E_0} \quad (4.7)$$

E_0 — испаряемость — это максимально возможное испарение при данных погодных условиях и при оптимальном увлажнении почвы. Определяется с помощью номограммы М.И. Будыко в зависимости от среднего дефицита влажности воздуха.

Пример биологических кривых водопотребления представлен на рисунке 4.7.

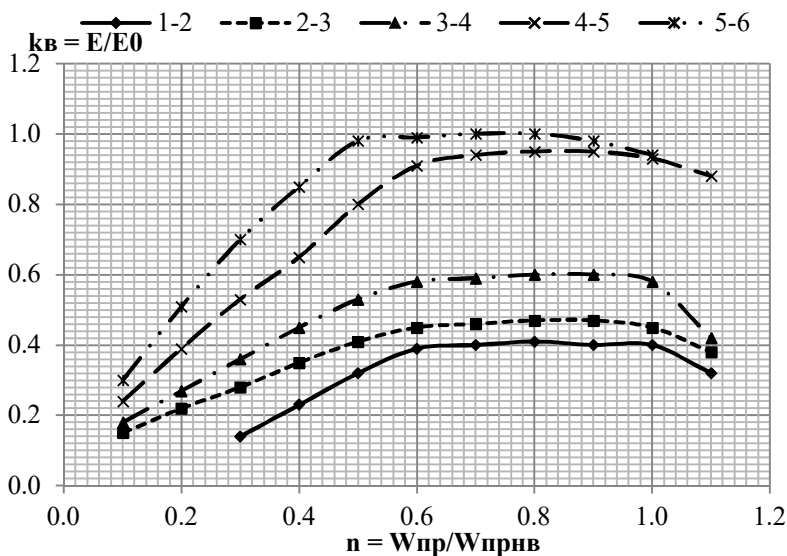


Рис.4.7 – Биологические кривые водопотребления для яровой пшеницы

Цифрами 1-2...5-6 обозначены межфазные периоды, а именно: 1-2— посев–всход; 2-3—всход–кущение; 3-4—кущение–цветение; 4-5—цветение–полная спелость; 5-6—полная спелость–уборка.

В *поливной норме брутто* коэффициентом потерь $k_{\text{п}} > 1$ учитываются потери воды на поле во время полива:

$$m_{\text{бр}} = k_{\text{н}} \cdot m \quad (4.8)$$

Сумма поливных норм нетто составляет оросительную норму нетто.

Лабораторная работа 4

«Расчет поливной нормы и выбор типа дождевальной установки для производства полива»

Цель работы: Рассчитать поливную норму для яровой пшеницы в корнеобитаемом слое 0-50 см и 0-100 см и подобрать типы дождевальных установок, подходящих для ее полива.

Для определения поливной нормы используются агрогидрологические константы – данные, характеризующие условия произрастания растения и являющиеся постоянными для данного места, а также фазы развития яровой пшеницы. Агрогидрологические константы влажность завядания $W_{вз}$ и наименьшая влагоемкость $W_{нв}$ даны в исходных данных по слоям, равным 10 см (Приложение 4). Фазы развития яровой пшеницы, представлены посевом, всходом, кущением, цветением, полной спелостью и уборкой, приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Фазы развития яровой пшеницы

Фаза	Посев	Всход	Кущение	Цветение	Полная спелость	Уборка
Дата	28.04	08.05	26.05	02.07	08.08	16.08
Меж- фазный период	1-2 28.04– 08.05	2-3 08.05– 26.05	3-4 26.05- 2.07	4-5 02.07- 08.08	5-6 08.08-16.08	
n_i	0,58	0,61	0,63	0,65	0,65	

Путем суммирования необходимо получить значения $W_{вз}$ и $W_{нв}$ в слоях 0-50 см и 0-100 см. После суммирования значений заполняется таблица (таблица 4.2) и рассчитывается продуктивные максимальные влагозапасы $W_{пр.макс}$ по формуле

$$W_{\text{пр.макс}} = W_{\text{нв}} - W_{\text{вз}} \quad (4.9)$$

Результаты расчетов также вносятся в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Определение продуктивных максимальных
влагозапасов

	Слой, см	
	0-50	0-100
$W_{\text{вз}}, \text{ мм}$		
$W_{\text{нв}}, \text{ мм}$		
$W_{\text{пр.макс}}, \text{ мм}$		

Величина нижнего оптимума $W_{\text{но}}$ и поливная норма m определяются для каждого слоя отдельно по формулам

$$W_{\text{но}} = W_{\text{пр.макс}} \cdot n_i \quad (4.10)$$

$$m = W_{\text{пр.макс}} - W_{\text{но}} \quad (4.11)$$

Результаты расчетов заносятся в таблицы (таблицы 4.3 и 4.4).

Таблица 4.3 – Определение поливной нормы в
корнеобитаемом слое 0-50 см

Межфазный период	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
n_i					
$W_{\text{но}}, \text{ мм}$					
$m, \text{ мм}$					

Таблица 4.4 – Определение поливной нормы в
корнеобитаемом слое 0-100 см

Межфазный период	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
n_i					
W_{HO} , мм					
m , мм					

Для выбора типа дождевальной установки необходимо перейти от поливной нормы нетто к поливной норме брутто в двух вариантах:

$$m_{бр1} = m_{\max} \cdot 1,3 \quad (4.12)$$

$$m_{бр2} = \bar{m} \cdot 1,3 \quad (4.13)$$

где $m_{\max}$ – максимальное значение поливной нормы в межфазные периоды; $\bar{m}$ – среднее значение поливной нормы в межфазные периоды. Коэффициент $k_n = 1,3$ используется с целью учета потерь воды на поле во время полива.

Расчет поливной нормы брутто выполняется отдельно для корнеобитаемых слоев 0–50 см (таблица 4.3) и 0–100 см (таблица 4.4).

Интенсивность впитывания определяется по формуле:

$$K_t = \frac{K_0}{(1+t)^\alpha} \quad (4.14)$$

где K_0 — интенсивность впитывания в начальной стадии, мм/мин, t — время впитывания, мин.

Интенсивность впитывания в начальной стадии K_0 для всех вариантов лабораторной работы принимается равной 4,7 мм/мин, а коэффициент $\alpha = 0,45$.

Время полива определяется по формуле:

$$t = \frac{m_{бр}}{i}, \quad (4.15)$$

$m_{бр}$ – поливная норма брутто, мм, i — интенсивность дождевания, мм/мин.

Результаты расчетов заносятся в таблицы (таблицы 4.5 и 4.6), в которых также осуществляется выбор дождевальных установок, отвечающих критерию $i \leq K_t$.

Таблица 4.4 – Выбор дождевальной установки

№ п/п	Тип дождевой установки	Интен- сивность дожде- вания, i мм/мин	Время полива t , мин		Интен- сивность впиты- вания, K_t		Вывод	
			$m_{бр1}$	$m_{бр2}$	$m_{бр1}$	$m_{бр2}$	$m_{бр1}$	$m_{бр2}$
1	ДШК-64	0.28						
2	ДМ-454- 10	0.30						
3	ДДМ-70	0.41						
4	ДДА- 100МА	1.50						
5	Сигма- 50Д	0.12						
6	ДД-15	0.15						

Таблица 4.5 – Выбор дождевальной установки

№ п/п	Тип дождевой установки	Интен- сивность дожде- вания, i мм/мин	Время полива t , мин		Интен- сивность впиты- вания, K_t		Вывод	
			$m_{бр1}$	$m_{бр2}$	$m_{бр1}$	$m_{бр2}$	$m_{бр1}$	$m_{бр2}$
1	ДШК-64	0.28						
2	ДМ-454- 10	0.30						
3	ДДМ-70	0.41						
4	ДДА- 100МА	1.50						
5	Сигма- 50Д	0.12						
6	ДД-15	0.15						

Во всех случаях, когда полученное значение отвечает критерию $K_t \geq i$, в графе «Вывод» ставится знак «+». В противном случае – знак «-». Выбранной считается та установка, напротив которой в графе «Вывод» указаны два знака «+».

В выводах указывается, какие дождевальные установки соответствуют/не соответствуют критериям выбора.

Контрольные вопросы

1. Какими способами производят орошение?
 2. На какие виды по принципу действия делятся дождевальные системы?
 3. Что такое поливная норма?
 4. Какие агрогидрологические константы используются для определения поливной нормы?
- Каким образом определяются продуктивные максимальные влагозапасы?

Список литературы

1. Абрамов Н. Н. Водоснабжение. Учебник для вузов. —М., Стройиздат, 1974. — 480 с.
2. Гришин М. М. Гидротехнические сооружения. Т. 1. —М., Высшая школа, 1979. —615 с.
3. Гришин М. М. Гидротехнические сооружения. Т. 2. —М., Высшая школа, 1979. —449 с.
4. Качурин В. К., Брагин А. В., Ерунов Б. Г. Проектирование висячих и вантовых мостов. —М., Транспорт, 1971. —277 с.
5. Костяков А.Н. Основы мелиораций. 6-е изд., доп. и переработ. — М., Сельхозгиз, 1960. —1960.
6. Кравцов А.М., Плискевич Е.В., Зыкун А.С. Гидравлика. Практикум: учебное пособие. — Минск: БГАТУ, 2022. —284 с.
7. Лев. В.Т. Практикум по орошаемому земледелию и сельскохозяйственным мелиорациям: Учеб. пособие для студ. с.-х. вузов по спец. «Орошаемое земледелие и с.-х. мелиорации». — Т.: Мехнат, 1986. —168 с.
8. Полетаев Ю.Б., Криулин К.Н., Патрина М.Ю., Орошение дождеванием: Учебное пособие. — СПбПУ, 2003. —53 с.
9. Ухин Б.В., Гусев А.А. Гидравлика. —Москва.: Инфра-М, 2019. —432 с.
- Цытович Н. А. Механика грунтов. — М., Высшая школа, 1983. — 288 с.

Приложение 1

Исходные данные для лабораторной работы № 1 «Гидротехнический расчет плотины»

Вариант 1

H ₁ , м	7,00
h, м	1,10
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , т/м ³	1,00
γ _б , т/м ³	2,20
C ₀	5,00
(3-3'), м	1,25
(1-2), м	1,37
(2-3), м	2*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,00
(7-8), м	0,35

Вариант 2

H ₁ , м	7,00
h, м	1,20
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , т/м ³	1,00
γ _б , т/м ³	2,20
C ₀	5,10
(3-3'), м	1,26
(1-2), м	1,38
(2-3), м	2,2*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,10
(7-8), м	0,45

Вариант 3

H ₁ , м	7,00
h, м	1,40
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , т/м ³	1,00
γ _б , т/м ³	2,20
C ₀	5,30
(3-3'), м	1,28
(1-2), м	1,40
(2-3), м	2,6*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,30
(7-8), м	0,50

Вариант 4

H ₁ , м	7,00
h, м	1,30
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , т/м ³	1,00
γ _б , т/м ³	2,20
C ₀	5,20
(3-3'), м	1,27
(1-2), м	1,39
(2-3), м	2,4*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,20
(7-8), м	0,40

Вариант 5

H ₁ , м	7,00
h, м	1,50
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , т/м ³	1,00
γ _б , т/м ³	2,20
C ₀	5,40
(3-3'), м	1,29
(1-2), м	1,41
(2-3), м	2,8*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,40
(7-8), м	0,15

Вариант 6

H ₁ , м	7,00
h, м	1,60
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , т/м ³	1,00
γ _б , т/м ³	2,20
C ₀	5,50
(3-3'), м	1,30
(1-2), м	1,42
(2-3), м	3*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,50
(7-8), м	0,20

Вариант 7

H ₁ , м	7,00
h, м	1,80
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , т/м ³	1,00
γ ₆ , т/м ³	2,20
C ₀	5,70
(3-3'), м	1,32
(1-2), м	1,44
(2-3), м	2,3*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,70
(7-8), м	0,70

Вариант 8

H ₁ , м	7,00
h, м	1,70
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , т/м ³	1,00
γ ₆ , т/м ³	2,20
C ₀	5,60
(3-3'), м	1,31
(1-2), м	1,43
(2-3), м	2,1*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,60
(7-8), м	0,75

Вариант 9

H ₁ , м	7,00
h, м	1,90
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , т/м ³	1,00
γ ₆ , т/м ³	2,20
C ₀	5,80
(3-3'), м	1,33
(1-2), м	1,45
(2-3), м	3,2*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,10
(7-8), м	0,55

Вариант 10

H ₁ , м	7,00
h, м	2,00
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , т/м ³	1,00
γ ₆ , т/м ³	2,20
C ₀	5,90
(3-3'), м	1,34
(1-2), м	1,46
(2-3), м	3,3*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,00
(7-8), м	0,35

Вариант 11

H ₁ , м	7,00
h, м	2,20
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , т/м ³	1,00
γ ₆ , т/м ³	2,20
C ₀	6,10
(3-3'), м	1,36
(1-2), м	1,48
(2-3), м	2,4*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,40
(7-8), м	0,60

Вариант 12

H ₁ , м	7,00
h, м	2,10
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , т/м ³	1,00
γ ₆ , т/м ³	2,20
C ₀	6,20
(3-3'), м	1,33
(1-2), м	1,49
(2-3), м	2,6*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,30
(7-8), м	0,65

Вариант 13

H ₁ , м	7,00
h, м	2,10
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , Т/м3	1,00
γ ₆ , Т/м3	2,20
C ₀	6,00
(3-3'), м	1,35
(1-2), м	1,47
(2-3), м	3,4*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,30
(7-8), м	0,50

Вариант 14

H ₁ , м	7,00
h, м	2,30
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , Т/м3	1,00
γ ₆ , Т/м3	2,20
C ₀	5,45
(3-3'), м	1,37
(1-2), м	1,49
(2-3), м	2,8*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,20
(7-8), м	0,25

Вариант 15

H ₁ , м	7,00
h, м	2,40
H ₂ , м	0, 05
H, м	
γ ₀ , Т/м3	1,00
γ ₆ , Т/м3	2,20
C ₀	5,35
(3-3'), м	1,38
(1-2), м	1,50
(2-3), м	3*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,70
(7-8), м	0,40

Вариант 16

H ₁ , м	7,00
h, м	2,60
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , Т/м3	1,00
γ ₆ , Т/м3	2,20
C ₀	5,85
(3-3'), м	1,40
(1-2), м	1,52
(2-3), м	2,3*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,60
(7-8), м	0,75

Вариант 17

H ₁ , м	7,00
h, м	2,50
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , Т/м3	1,00
γ ₆ , Т/м3	2,20
C ₀	5,55
(3-3'), м	1,39
(1-2), м	1,51
(2-3), м	2,1*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,50
(7-8), м	0,35

Вариант 18

H ₁ , м	7,00
h, м	1,70
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , Т/м3	1,00
γ ₆ , Т/м3	2,20
C ₀	5,70
(3-3'), м	1,31
(1-2), м	1,45
(2-3), м	3,2*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,10
(7-8), м	0,50

Вариант 19

H ₁ , м	7,00
h, м	1,30
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , Т/м3	1,00
γ ₆ , Т/м3	2,20
C ₀	5,20
(3-3'), м	1,28
(1-2), м	1,38
(2-3), м	2,2*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,10
(7-8), м	0,45

Вариант 20

H ₁ , м	7,00
h, м	2,30
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , Т/м3	1,00
γ ₆ , Т/м3	2,20
C ₀	5,80
(3-3'), м	1,42
(1-2), м	1,52
(2-3), м	2,3*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,60
(7-8), м	0,70

Вариант 21

H ₁ , м	7,00
h, м	1,80
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , Т/м3	1,00
γ ₆ , Т/м3	2,20
C ₀	5,50
(3-3'), м	1,35
(1-2), м	1,43
(2-3), м	2,1*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,50
(7-8), м	0,40

Вариант 22

H ₁ , м	7,00
h, м	2,10
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , Т/м3	1,00
γ ₆ , Т/м3	2,20
C ₀	5,80
(3-3'), м	1,45
(1-2), м	1,52
(2-3), м	2,3*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,60
(7-8), м	0,65

Вариант 23

H ₁ , м	7,00
h, м	1,90
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , Т/м3	1,00
γ ₆ , Т/м3	2,20
C ₀	5,50
(3-3'), м	1,32
(1-2), м	1,50
(2-3), м	2,1*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,50
(7-8), м	0,45

Вариант 24

H ₁ , м	7,00
h, м	1,70
H ₂ , м	0,50
H, м	
γ ₀ , Т/м3	1,00
γ ₆ , Т/м3	2,20
C ₀	5,70
(3-3'), м	1,33
(1-2), м	1,45
(2-3), м	3,2*H
(3'-4), м	H
(4-5), м	4,40
(7-8), м	0,50

Приложение 2

Исходные данные для лабораторной работы № 2 «Расчет размеров малого гидротехнического сооружения на примере водослива с тонкой стенкой»

Вариант 1

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,008
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	0,60
$B, \text{м}$	1,10
m	1,50
I	0,0005
n	0,050

Вариант 2

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,001
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	0,65
$B, \text{м}$	1,20
m	1,50
I	0,0004
n	0,042

Вариант 3

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,011
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	0,72
$B, \text{м}$	1,15
m	1,50
I	0,0003
n	0,033

Вариант 4

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,017
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	1,15
$B, \text{м}$	1,95
m	1,50
I	0,0008
n	0,056

Вариант 5

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,020
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	1,47
$B, \text{м}$	1,80
m	1,50
I	0,0011
n	0,045

Вариант 6

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,043
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	1,80
$B, \text{м}$	2,00
m	1,50
I	0,0007
n	0,037

Вариант 7

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,017
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	0,71
$B, \text{м}$	1,35
m	1,50
I	0,0006
n	0,054

Вариант 8

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,006
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	0,82
$B, \text{м}$	1,25
m	1,50
I	0,0013
n	0,062

Вариант 9

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,023
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	1,23
$B, \text{м}$	2,1
m	1,5
I	0,0004
n	0,035

Вариант 10

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,001
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	0,76
$B, \text{м}$	1,55
m	1,5
I	0,0007
n	0,057

Вариант 11

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,030
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	1,45
$B, \text{м}$	1,2
m	1,5
I	0,0009
n	0,033

Вариант 12

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,015
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	1,77
$B, \text{м}$	1,3
m	1,5
I	0,0007
n	0,029

Вариант 13

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,012
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	1,19
$B, \text{м}$	1,4
m	1,5
I	0,0010
n	0,044

Вариант 14

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,024
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	1,83
$B, \text{м}$	2,0
m	1,5
I	0,001
n	0,037

Вариант 15

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,032
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	1,94
$B, \text{м}$	1,6
m	1,5
I	0,002
n	0,041

Вариант 16

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,001
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	0,39
$B, \text{м}$	1,0
m	1,5
I	0,0002
n	0,055

Вариант 17

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,065
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	1,74
$B, \text{м}$	1,85
m	1,5
I	0,0005
n	0,033

Вариант 18

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,044
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	2,13
$B, \text{м}$	1,45
m	1,5
I	0,0008
n	0,029

Вариант 19

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,041
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	1,15
$B, \text{м}$	1,15
m	1,50
I	0,0007
n	0,033

Вариант 20

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,014
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	1,12
$B, \text{м}$	1,85
m	1,50
I	0,0008
n	0,053

Вариант 21

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,026
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	1,43
$B, \text{м}$	1,80
m	1,50
I	0,0012
n	0,049

Вариант 22

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,041
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	1,30
$B, \text{м}$	2,00
m	1,05
I	0,0011
n	0,052

Вариант 23

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,018
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	0,74
$B, \text{м}$	1,30
m	1,50
I	0,0006
n	0,052

Вариант 24

$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$	0,033
$Q_{\max}, \text{м}^3/\text{с}$	1,02
$B, \text{м}$	1,35
m	1,50
I	0,0009
n	0,044

Приложение 3

Исходные данные для лабораторной работы № 3
«Расчет каната подвешенного гидрометрического мостика»

Вариант 1

l , м	29
h , м	0,5
q , кг/м	78
f , м	$l/27$

Вариант 2

l , м	35
h , м	0,55
q , кг/м	81
f , м	$l/27$

Вариант 3

L , м	34
h , м	1
q , кг/м	90
f , м	$l/27$

Вариант 4

L , м	22
h , м	1,2
q , кг/м	77
f , м	$l/27$

Вариант 5

l , м	20
h , м	0,7
q , кг/м	80
f , м	$l/29$

Вариант 6

l , м	38
h , м	1,4
q , кг/м	85
f , м	$l/29$

Вариант 7

l , м	28
h , м	0,85
q , кг/м	79
f , м	$l/29$

Вариант 8

l , м	39
h , м	0,9
q , кг/м	90
f , м	$l/29$

Вариант 11

l , м	20
h , м	0,65
q , кг/м	74
f , м	$l/29$

Вариант 12

l , м	41
h , м	0,6
q , кг/м	92
f , м	$l/26$

Вариант 13

l , м	36
h , м	0,95
q , кг/м	86
f , м	$l/26$

Вариант 14

l , м	29
h , м	0,65
q , кг/м	77
f , м	$l/26$

Вариант 15

l , м	27
h , м	1,5
q , кг/м	84
f , м	$l/26$

Вариант 16

l , м	30
h , м	1,2
q , кг/м	81
f , м	$l/29$

Вариант 17

l , м	25
h , м	1,7
q , кг/м	83
f , м	$l/30$

Вариант 18

l , м	37
h , м	0,60
q , кг/м	92
f , м	$l/27$

Вариант 19

l , м	32
h , м	0,91
q , кг/м	86
f , м	$l/26$

Вариант 20

l , м	30
h , м	0,63
q , кг/м	77
f , м	$l/26$

Вариант 21

l , м	33
h , м	0,57
q , кг/м	85
f , м	$l/27$

Вариант 22

l , м	23
h , м	1,0
q , кг/м	75
f , м	$l/29$

Вариант 23

l , м	37
h , м	1,1
q , кг/м	80
f , м	$l/28$

Вариант 24

l , м	27
h , м	0,95
q , кг/м	74
f , м	$l/30$

Приложение 4

Исходные данные для лабораторной работы № 4 «Расчет поливной нормы и выбор типа дождевальной установки для производства полива»

Вариант 1

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W_{B3}	7,2	8,3	9,3	9,6	10,5	10,2	9,2	8,3	5,5	6,0
W_{HB}	28,7	29,4	31,9	31,5	29,6	30,1	28,3	28,8	25,7	23,7

Вариант 2

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W_{B3}	8,5	11,3	14,3	16,8	18,3	24,6	26,3	27,0	27,8	28,7
W_{HB}	23,2	26,1	31,5	29,3	29,0	32,3	35,0	35,9	35,0	35,0

Вариант 3

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W_{B3}	9,7	11,0	12,9	17,4	22,8	21,1	22,1	23,2	21,8	21,1
W_{HB}	61,6	53,3	43,4	50,4	45	41,6	41,6	43,2	43,2	36,8

Вариант 4

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W_{B3}	11,8	12,1	15,4	17,4	14,6	14,6	17,3	15,5	15,4	14,2
W_{HB}	33,3	32,4	32,0	37,2	33,0	31,9	34,8	34,8	34,8	32,4

Вариант 5

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W_{B3}	12,8	13,8	18,5	19,5	19,0	27,3	21,8	22,4	23,1	22,4
W_{HB}	54,0	54,6	50,4	53,3	54,0	51,8	46,2	45,0	48,0	45,0

Вариант 6

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W_{B3}	12,3	13,2	18,2	19,1	18,9	25,3	20,4	22,3	23,1	21,5
W_{HB}	53,7	54,0	50,2	51,3	54,3	51,1	46,2	45,7	48,1	45,4

Вариант 7

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W _{ВЗ}	13,4	13,4	14,3	15,6	15,8	14,1	13,8	12,1	12,8	8,6
W _{НВ}	39,3	40,2	39,6	40,8	37,7	37,7	36,4	34,5	35,2	35,2

Вариант 8

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W _{ВЗ}	13,9	15,0	17,7	19,8	23,0	23,7	25,5	23,5	24,2	21,6
W _{НВ}	35,0	35,2	39,0	32,5	33,6	33,6	37,5	35,0	37,5	36,4

Вариант 9

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W _{ВЗ}	14,2	14,1	16,8	16,2	17,3	18,2	18,06	19,8	19,32	20,4
W _{НВ}	42,2	42,3	45,6	34,8	33,6	30,8	32,2	37,5	33,6	36,2

Вариант 10

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W _{ВЗ}	14,2	15,5	16,8	16,2	18,2	18,2	18,0	18,4	19,3	19,0
W _{НВ}	42,1	46,2	45,6	34,8	33,6	30,5	32,2	35,0	33,6	33,6

Вариант 11

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W _{ВЗ}	14,3	14,9	15,5	16,2	18,2	18,2	18,6	20,7	19,04	14,3
W _{НВ}	42,0	42,0	45,6	38,7	35,0	33,6	30,8	31,5	28,0	42,0

Вариант 12

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W _{ВЗ}	14,5	16,8	16,3	16,5	16,1	15,8	15,6	13,5	13,8	13,0
W _{НВ}	45,1	46,8	37,4	34,8	33,8	28,0	25,2	26,6	28,5	25,5

Вариант 13

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W _{ВЗ}	15,7	15,6	15,1	13,9	13,5	13,2	11,4	10,2	10,0	9,3
W _{НВ}	33,6	33,6	32,4	28,8	27,3	26,3	26,6	22,1	22,4	22,4

Вариант 14

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W _{БЗ}	16,2	19,6	16,8	14,6	10,2	10,3	15,4	15,9	18,9	18,2
W _{НБ}	41	37,4	32,4	27,6	28,4	30,8	33,6	30,8	32,2	32,2

Вариант 15

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W _{БЗ}	18,6	21,5	19,4	23,3	21,7	19,5	17,4	18,2	18,5	18,2
W _{НБ}	36,6	42,1	31,5	30,8	32,4	35,1	36,4	39,2	39,2	37,5

Вариант 16

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W _{БЗ}	13,7	14,6	15,5	14,9	13,8	13,2	12,4	11,2	10,5	9,8
W _{НБ}	33,6	33,9	33,4	29,8	28,3	27,3	26,9	23,1	22,9	22,8

Вариант 17

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W _{БЗ}	12,4	12,4	13,3	14,6	15,1	13,1	13,6	12,1	12,8	8,6
W _{НБ}	39,0	40,1	39,3	40,4	37,1	37,5	35,4	34,4	34,2	35,1

Вариант 18

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W _{БЗ}	12,5	12,7	13,3	14,4	15,6	13,7	13,6	12,5	12,3	10,6
W _{НБ}	39,2	40,1	39,3	40,4	37,1	37,5	35,4	34,4	34,2	35,1

Вариант 19

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W _{БЗ}	9,5	10,8	12,3	14,8	16,3	22,6	24,3	25,0	27,1	27,7
W _{НБ}	24,2	26,7	33,5	31,3	32,0	32,3	35,4	35,7	35,4	35,3

Вариант 20

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W _{БЗ}	15,5	15,3	14,8	13,7	13,3	13,0	11,1	10,0	9,0	9,2
W _{НБ}	35,6	34,6	34,4	29,8	28,3	27,3	27,4	24,2	24,5	24,4

Вариант 21

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W _{БЗ}	16,2	19,6	16,8	14,6	10,2	10,3	15,4	15,9	18,9	18,2
W _{НБ}	41	37,4	32,4	27,6	28,4	30,8	33,6	30,8	32,2	32,2

Вариант 22

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W _{БЗ}	17,6	20,5	19,4	21,3	21,7	19,5	18,4	18,2	18,5	18,2
W _{НБ}	38,6	40,1	33,5	32,8	32,4	34,1	35,4	39,2	39,2	38,5

Вариант 23

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W _{БЗ}	13,9	14,9	15,7	15,9	14,8	13,8	13,4	11,9	10,5	9,8
W _{НБ}	34,5	34,9	33,2	29,7	27,3	26,3	24,8	23,1	22,1	22,1

Вариант 24

const	Слой, см									
	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
W _{БЗ}	10,7	11,4	13,9	16,4	20,8	21,6	22,1	22,2	21,5	21,0
W _{НБ}	51,6	50,3	48,4	47,4	45,1	42,6	41,3	41,2	40,2	36,5

Оглавление

Введение	1
1 Плотины.....	7
Лабораторная работа 1	42
2 Водосливы	53
Лабораторная работа 2.....	67
3 Гидрометрические мостики	74
Лабораторная работа 3	91
4 Орошение дождеванием.....	95
Лабораторная работа 4.....	116
Список литературы	122
Приложение 1	123
«Гидротехнический расчет плотины»	123
Приложение 2.....	127
Приложение 3	130
Приложение 4.....	132