



Министерство образования
Республики Беларусь

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра «Гидротехническое и энергетическое строительство»

М.И. Богданович

КОНСТРУКЦИИ КАМЕР СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗОВ

**Методическое пособие по выполнению
курсового проекта**

**Минск
БНТУ
2012**

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Гидротехническое и энергетическое строительство»

М.И. Богданович

КОНСТРУКЦИИ КАМЕР
СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗОВ

Методическое пособие по выполнению курсового проекта
на тему «Судоходный шлюз»
по дисциплинам «Водные пути и порты»,
«Водные пути и технический флот»
для студентов специальностей 1-70 04 01
«Водохозяйственное строительство»,
1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая
эксплуатация водного транспорта»

Минск
БНТУ
2012

УДК 626.421.2:378.147.091.313(075.8)

ББК 39.112я7

Б 73

Рецензенты:

Н.Н. Линкевич, С.П. Гатилло

Богданович, М.И.

Б 73 Конструкции камер судоходных шлюзов: методическое пособие по выполнению курсового проекта на тему «Судоходный шлюз» по дисциплинам «Водные пути и порты», «Водные пути и технический флот» для студентов специальностей 1-70 04 01 «Водохозяйственное строительство», 1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая эксплуатация водного транспорта» / М.И. Богданович. – Минск: БНТУ. – 2012. – 34 с.

ISBN 978-985-525-785-2.

В пособии содержатся рекомендации и пояснения по выполнению разделов курсового проекта на тему «Судоходный шлюз», посвященного проектированию камеры шлюза.

Даны рекомендации по выбору конструкции камеры при не-скальном и скальном основании, проектированию поперечного профиля камеры, противofильтрационных и дренажных устройств, а также разрезке сооружений шлюза деформационными швами.

УДК 626.421.2:378.147.091.313(075.8)

ББК 39.112я7

ISBN 978-985-525-785-2

© Богданович М.И., 2012

© БНТУ, 2012

Введение

Проектирование судоходных шлюзов, как и многих других гидротехнических сооружений, – это итерационный процесс, при котором запроектированные варианты компоновочных и конструктивных решений подвергаются поверочным расчетам и технико-экономическому анализу с целью определения варианта, обеспечивающего выполнение сооружением функций в объеме, предусмотренном заданием на проектирование, при обеспечении максимальной экономической эффективности. Поэтому работу над разделами курсового проекта по теме «Судоходный шлюз», связанными с проектированием его камеры, целесообразно разделить на два этапа. На первом этапе, исходя из требований нормативной документации и руководствуясь учебной литературой и настоящим пособием, необходимо в первом приближении выполнить конструирование камеры шлюза, что позволит получить исходный ее вариант. На втором этапе должны быть выполнены поверочные расчеты камеры и по их результатам при необходимости внесены изменения.

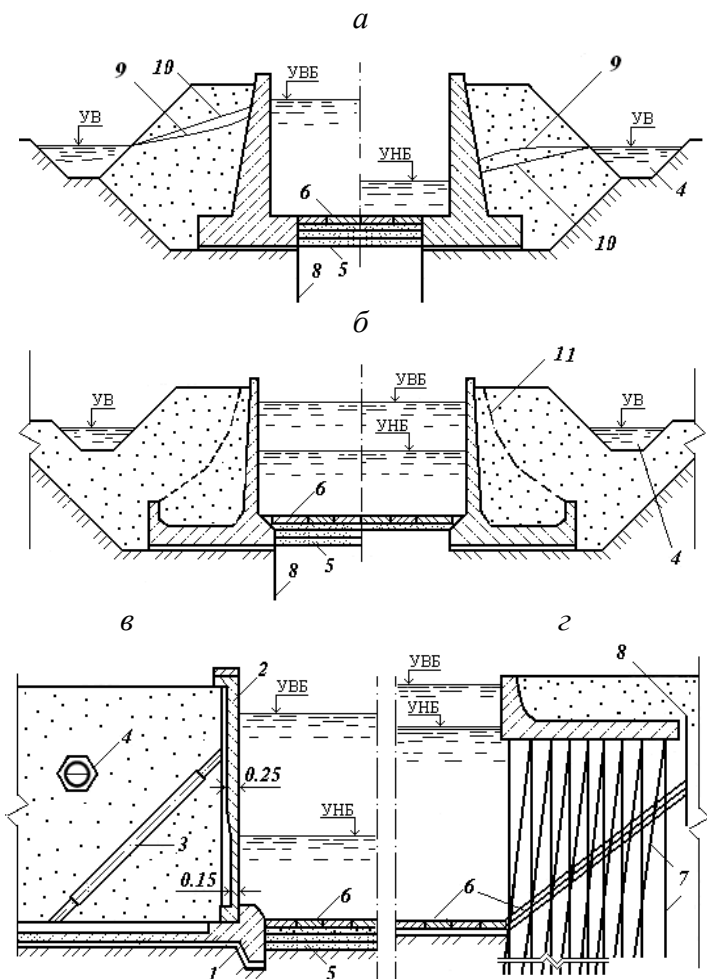
Пособие включает пояснения и рекомендации по выбору конструкции, определению размеров камеры шлюза, дренажных и противоточных устройств.

1 КОНСТРУКЦИИ КАМЕР ШЛЮЗОВ

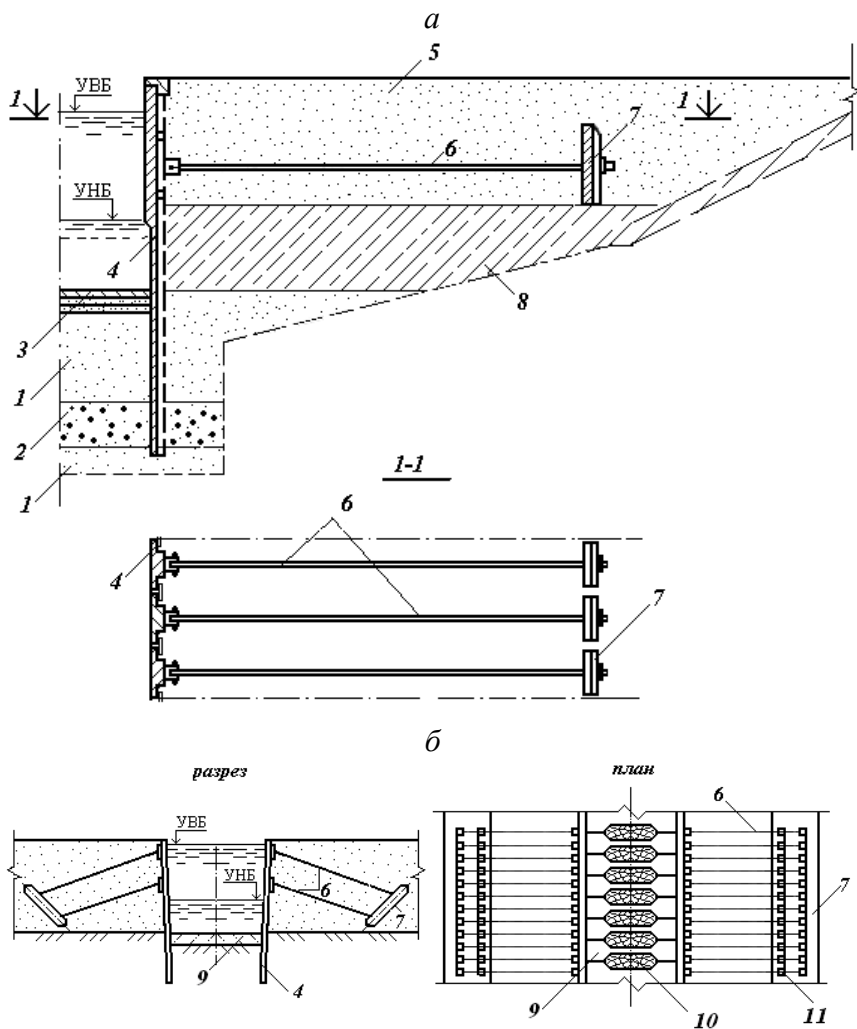
Камера шлюза – это канал, ограниченный снизу днищем, по бокам стенами и по торцам головами. В зависимости от формы поперечного сечения они подразделяются на камеры откосные, полукосные и с вертикальными стенами. Откосные и полукосные камеры можно встретить на шлюзах, построенных в XIX и первой половине XX века. В более поздние времена предпочтение отдавалось камерам с вертикальными стенами. В такой камере удобен отстой судов и уменьшена, по сравнению с откосными и полукосными камерами, сливная призма, что позволяет меньше расходовать воды на шлюзование и ускорять пропуск судов.

В соответствии с [1], камеры шлюзов классифицируются по трем признакам: типу днищ, наличию и расположению водопроводных галерей и высоте обратных засыпок за стенами.

По **первому признаку** они подразделяются на камеры с водонепроницаемыми (рис. 1, 2) и со сплошными водонепроницаемыми днищами (рис. 3–5). Камеры с водонепроницаемыми днищами могут быть докового типа (рис. 3, *a*; рис. 4, *б–г*) или с днищами, разрезанными продольным швом, который соответствующим образом уплотняется (рис. 3, *б–г*; рис. 4, *a*). В камерах с водонепроницаемыми днищами галереи могут отсутствовать (рис. 3), располагаться в стенах (рис. 4, *a, б*) или находиться в днище (рис. 4, *в, г*; рис. 5). Поэтому **по второму признаку** различают камеры без водопроводных галерей и с водопроводными галереями, расположенными в стенах или днище. **По третьему признаку** камеры подразделяются на камеры с полными (рис. 1–3; 4, *a, в, г*; рис. 5) и неполными обратными засыпками (рис. 4, *б*).

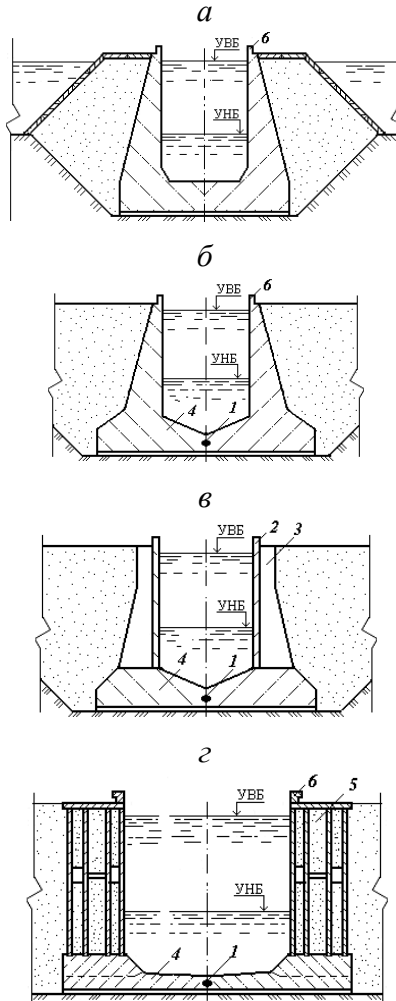


a – с массивными стенами; *б* – уголковыми контрфорсными стенами;
в – уголковыми заанкеренными стенами; *г* – уголковыми стенами на высоком
 свайном ростверке: 1 – фундаментная плита; 2 – вертикальный железобетонный
 элемент; 3 – анкер; 4 – дренаж; 5 – обратный фильтр; 6 – крепление; 7 – сваи;
 8 – шпунт; 9 – кривая депрессии при неустановившемся движении
 фильтрационного потока; 10 – то же, при установившемся; 11 – контрфорс
 Рисунок 1 – Камеры шлюзов с водопроницаемыми днищами



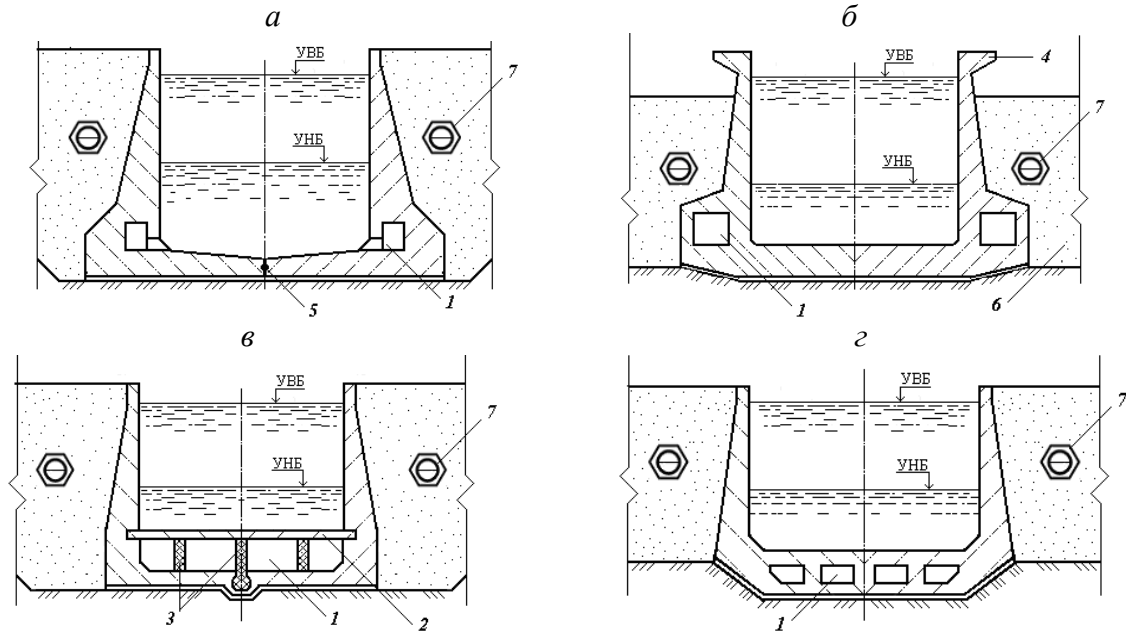
a – из железобетонного шпунта с однорядной анкерровкой; *б* – стального с двухрядной анкерровкой: 1 – песок; 2 – гравийный грунт; 3 – крепление плитами, уложенными на обратном фильтре; 4 – шпунт; 5 – песчаная засыпка; 6 – анкерные тяги; 7 – анкерная плита; 8 – суглинок; 9 – плиты-распорки; 10 – отверстия в плитах-распорках для снятия фильтрационного давления, заполненные камнем; 11 – крепления анкерных тяг

Рисунок 2 – Камеры шлюзов с водопроницаемыми днищами



a – с монолитными стенами и неразрезным дном, расположенная в верхнем бьефе; *б* – стенами трапецидального сечения и разрезным дном; *в* – контрфорсными стенами и разрезным дном; *г* – ячеистыми стенами и разрезным дном: 1 – продольный шов с уплотнением; 2 – вертикальный железобетонный элемент; 3 – контрфорс; 4 – разрезное дно; 5 – ячеистая стена; 6 – парапет

Рисунок 3 – Камеры шлюзов с водонепроницаемыми днами без продольных водопроводных галерей



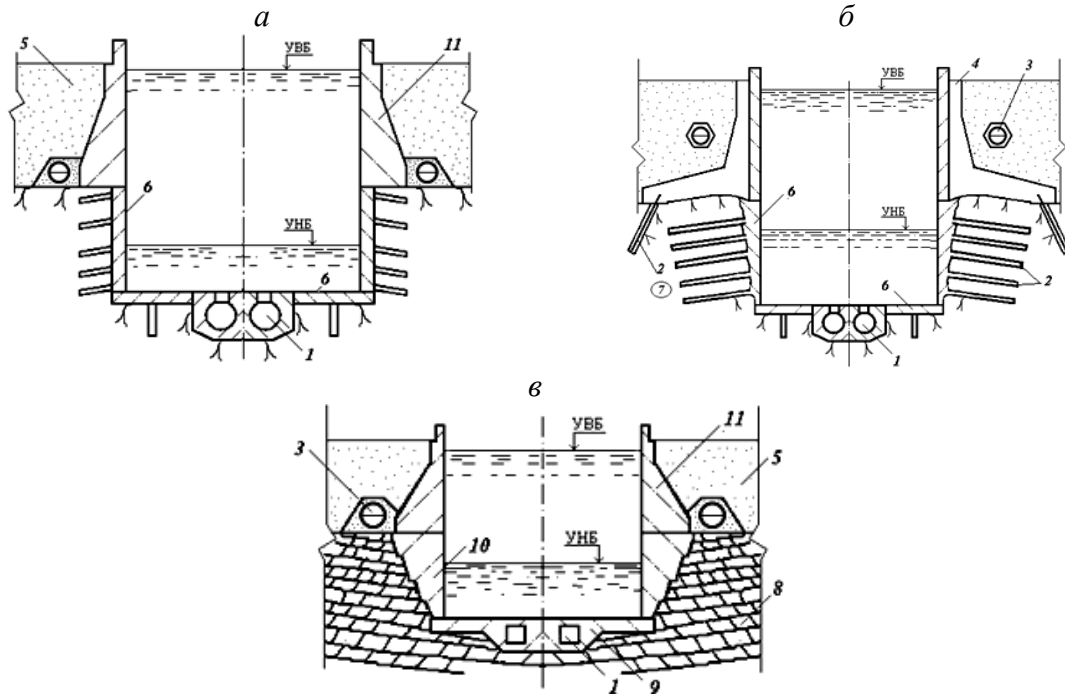
a – с рамными стенами и разрезным дном; *б* – то же, с неразрезным дном;

в – временно разрезным дном; *г* – неразрезным рамным дном:

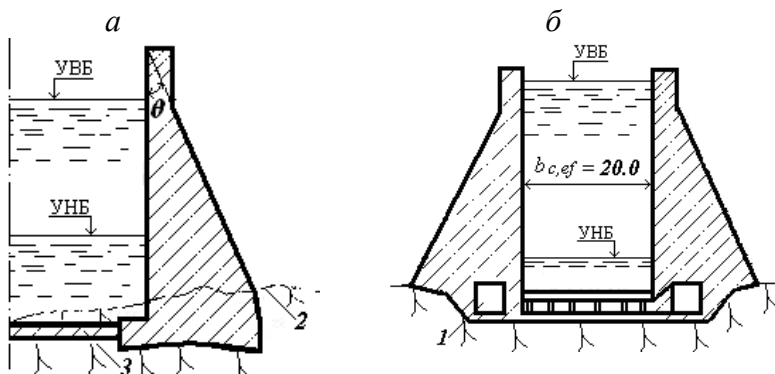
1 – водопроводная галерея; *2* – монолитная затяжка; *3* – опорные стойки
затяжки (стенки галерей); *4* – консоль; *5* – продольный шов с уплотнением;

б – неполная обратная засыпка; *7* – дренаж

Рисунок 4 – Камеры шлюзов с водонепроницаемыми днищами и продольными водопроводными галереями



a – частично врубленная в скалу хорошего качества; *б* – то же, с контрфорсными стенами, заанкеренными в скалу;
в – частично врубленные в сильнотрещиноватую скалу: 1 – водопроводная галерея; 2 – анкеры; 3 – дренаж; 4 – контрфорс;
 5 – песчаная засыпка; 6 – тонкая облицовка; 7 – слаботрещиноватые породы; 8 – сильнотрещиноватые породы;
 9 – днищевая плита; 10 – массивная облицовка; 11 – гравитационная подпорная стенка
 Рисунок 5 – Камеры шлюзов с водонепроницаемыми днищами на скальном основании



а – с массивными стенами треугольного профиля при низком скальном основании;
б – то же, с продольными галереями в стенах: *1* – водопроводная галерея;
2 – исходное положение скалы; *3* – выравнивающая облицовка дна;
 θ – угол наклона тыловой грани стены
 Рисунок 6 – Камеры шлюзов с водонепроницаемыми днищами на скальном основании

2 ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ КАМЕРЫ ШЛЮЗА

Конструкции назначаются в зависимости от габаритов шлюза, напора на шлюз, принятой системы питания, характера основания путем технико-экономического сравнения их вариантов [2]. Применительно к вышеизложенной классификации выбор вариантов следует начать с анализа инженерно-геологических условий строительной площадки. Если в основании залегают не скальные грунты, то выбор можно осуществлять среди конструкций, представленных на рис. 1–4, если скальные – рис. 5, 6.

Конструкции, представленные на рис. 1–6, являются наиболее известными [2–9] и могут использоваться студентами в качестве первого приближения при курсовом и дипломном проектировании, что также не исключает возможность применения и иных конструкций.

2.1 Выбор конструкции камеры шлюза на не скальном основании

Наибольшими преимуществами в эксплуатационном отношении из представленных на рис. 1–4 конструкций обладают доковые камеры (см. рис. 3, *а*; 4, *б-2*) [2, 3]. Поэтому их включение в рассмат-

риваемые варианты при выборе конструкции камеры шлюза на не- скальном основании практически всегда является целесообразным. При напорах до 5 м как альтернатива доковой конструкции могут рассматриваться камеры с водопроницаемыми днищами (см. рис. 1, 2). В конструктивном отношении водопроницаемые днища обычно представляют собой защитное покрытие на обратном фильтре в виде каменной мостовой толщиной 0,25–0,4 м, бетонных армированных плит толщиной 0,15–0,3 м, гибких бетонных матов. Обратный фильтр состоит обычно из трех слоев пористого материала различной крупности (например, песка, мелкого и крупного гравия). Толщина слоя фильтра 0,2–0,25 м. При использовании гибких матов для устройства обратных фильтров применяются геотекстильные материалы. Крепление защищает дно камеры от размыва и обеспечивает фильтрационную прочность грунтов основания при фильтрации воды в камеру или из нее в зависимости от уровня воды.

Для достижения более экономичной конструкции стен шлюза применяются железобетонные распорки, установленные на уровне дна камеры (см. рис. 2, б). Обеспечение надлежащей длины фильтрационного контура в основании достигается устройством шпунтов вдоль одной (см. рис. 1, а, б) или даже обеих граней стены.

Стены камер шлюзов с водопроницаемыми днищами, как правило, не имеют водопроводных галерей, что позволяет в этом случае применять конструкции стен облегченного типа: контрфорсные железобетонные (см. рис. 1, б), сборно-монолитные уголкового профиля (см. рис. 1, в), а также из железобетонного или металлического шпунта на основаниях, позволяющих погружение шпунта (см. рис. 2). При малом отношении напора к глубине, а также в случаях, когда под отдельно стоящими стенами камер залегают слабые грунты, стены камер проектируются на высоких свайных ростверках (см. рис. 1, г).

Из конструкций, представленных на рис. 1, 2, с учетом прочностных и фильтрационных характеристик грунтов основания, в дополнение к доковой конструкции проектируется еще два-три варианта камеры и выполняется их технико-экономическое сравнение. По его результатам принимается наиболее эффективная конструкция камеры.

При напорах 5 и более метров следует проектировать камеры со сплошным водонепроницаемым днищем (см. рис. 3, 4) [2], которое может быть временно разрезным, разрезным и неразрезным (доковая конструкция).

Временная разрезка днищ камер (см. рис. 4, в) позволяет уменьшить изгибающие моменты и толщины этих днищ за счет предварительного обжатия бетона путем растяжения арматуры верхней затяжки при неравномерной осадке полусекций днищ, постепенно нагружаемых в процессе строительства стенами и весом обратной засыпки. Однако при этом усложняется производство работ, которое должно вестись по днищу, стенам камер и обратной их засыпке в определенной последовательности.

Разрезные днища с постоянным швом в односторонних шлюзах имеют шов по оси камеры. При этом каждая из симметричных половин камеры представляет собой подпорную стену на фундаменте с передней консолью, равной по длине полуширине камеры шлюза. Для разрезных днищ требуются уплотнения продольных швов, гарантирующие полную их водонепроницаемость, как при значительной разности осадок, так и при перекосах отдельных полусекций камеры. При выполнении этого требования часто встречаются серьезные затруднения.

Выбор между разрезными, временно разрезными и неразрезными конструкциями определяется, в основном, технико-экономическими показателями. При расположении камер шлюзов в верхнем бьефе и наличии в основании грунтов с высокими коэффициентами фильтрации следует безальтернативно предусматривать конструкцию камер докового типа с неразрезным или временно разрезным днищем (см. рис. 3, а; рис. 4, б-г). При расположении камер в нижнем бьефе вариант камеры с разрезным днищем (см. рис. 3, б-г; рис. 4, а) может рассматриваться как альтернатива доковой конструкции в том случае, если шлюз расположен преимущественно на связных грунтах основания при отношении высоты стены к полезной ширине камеры более 0,6, а также при отсутствии в основании напорных водоносных горизонтов или возможности возникновения таковых после постановки гидроузла или гидротехнического комплекса (например, судоходного канала) под напор.

2.2 Выбор конструкции камеры шлюза на скальном основании

Конструкция камеры на скальном основании в первую очередь зависит от качества скальных пород. На слабых скальных и полускальных породах камеры шлюзов выполняются, как и на нескаль-

ных основаниях, железобетонными со сплошным днищем. Вторым принципиальным фактором при выборе конструкции является взаимное расположение кровли скальных пород относительно дна камеры и верха стен. При высокой прочности скальной породы, кровля которой лежит ниже или на уровне дна камеры, стены камер могут быть выполнены бетонными треугольного профиля с вертикальной лицевой гранью (рис. 6). Продольные водопроводные галереи распределительных систем питания располагают при этом в нижней части бетонных стен камер (см. рис. 6, б). При залегании кровли скальных пород на промежуточных отметках между дном камеры и верхом стены, стена имеет составную конструкцию (см. рис. 5). Верхняя часть представляет собой подпорную стенку, а нижняя – скальную облицовку, конструкция которой зависит от качества скалы. При слаботрещиноватой прочной скале облицовка, закрепленная анкерами, воспринимающими при опорожненной камере давление за стенами, может иметь небольшую (0,5–1 м) толщину, достаточную лишь для выравнивания выемок (см. рис. 5, а). Облицовки камер при слабой скале рекомендуется устраивать массивными, с толщиной, обеспечивающей ее устойчивость под воздействием давления воды со стороны тыловой грани (см. рис. 5, в). Днища камер таких шлюзов выполняются, как правило, в виде плиты, заанкеренной в основание или опертой в стены. При высоком качестве скалы дно камеры можно совсем не облицовывать или применять выравнивающую облицовку. Выше облицовки стены камер могут выполняться бетонными или железобетонными гравитационными, либо контрфорсными, с заделкой их тыловой арматуры в скалу (см. рис. 5, б).

Таким образом, при выборе конструкции камеры шлюза на скальном основании анализируются физико-механические свойства скальных пород и условия их залегания, проектируется несколько вариантов и выполняется их технико-экономическое сравнение. В рамках выполнения курсового проекта рекомендуется считать, что крыша скальных пород залегает на отметках, находящихся на середине между отметкой дна камеры и верха стены.

3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ КАМЕР ШЛЮЗОВ

Проектирование выполняется методом последовательных приближений. В первом приближении очертания и основные размеры поперечного профиля принимаются конструктивно и в дальнейшем уточняются по результатам статических расчетов. В ТКП [1] имеется два требования в части проектирования поперечного профиля камер шлюзов.

1. Лицевые грани камер шлюзов следует проектировать вертикальными или с уклоном в сторону засыпки не более 50:1. Наклонные грани стен должны сопрягаться с вертикальными гранями устоев голов переходным участком в продольном направлении с уклоном не более 1:5. Тыловые грани стен камер шлюзов при высоте более 10 м, как правило, следует выполнять с переменным уклоном по высоте.

2. Верх стен, шлюзов, направляющих и причальных сооружений или их парапетов, способных воспринимать навал судов, при расчетном наивысшем уровне воды не должен быть ниже верхнего привального бруса наибольшего расчетного судна при полной загрузке и не ниже нижнего привального бруса расчетного судна в порожнем состоянии. Расположение привальных брусьев по высоте борта определяется, как правило, по проектам расчетных судов. Возвышение площадок, расположенных вдоль стен камер шлюзов, причальных и направляющих сооружений над расчетным наивысшим уровнем воды должно быть для шлюзов на сверхмагистральных водных путях не менее 2 м, магистральных – не менее 1 м, на водных путях местного значения – не менее 0,5 м.

В проектной практике лицевая грань чаще всего принимается вертикальной. Это исключает необходимость устройства переходного участка от наклонных стен камеры к всегда вертикальным устоям головы. Если же предполагается возможность смещения верха стены под действием горизонтальных сил со стороны засыпки, то лицевой грани придается соответствующий уклон в сторону засыпки для предотвращения возможного нарушения полезной ширины камеры.

На начальных стадиях проектирования, а также при курсовом и дипломном проектировании, положение привальных брусьев расчетных судов не всегда известно. Поэтому отметку верха стены можно принять на уровне пришлюзовых площадок, считая, что па-

рапет не предназначен для восприятия навала судов. Высота парапета в соответствии с [2] может быть принята равной 1,1 м, толщина 0,5–0,6 м. Парапет, не рассчитанный на навал судов, может быть заменен охранным ограждением, отнесенным от лицевой грани на расстояние, исключающее навал.

Для облегчения условий работы нижних наиболее нагруженных сечений стен камер устраивается постепенный переход от лицевой грани стены к днищу (вут) с уклоном 1:1 – 1:4. Высота вута n должна приниматься не больше величины запаса глубины под днищем расчетного судна ($n \leq h_1 - S$), а его ширина m должна учитывать запасы по обводам судна в поперечном сечении ($m \leq \Delta b_s$).

Массивные стены камер шлюзов со сплошными днищами без продольных водопроводных галерей могут быть близкими по профилю к трапеции. Применимы при таких днищах также контрфорсные стены. Ширину понизу трапецеидальных железобетонных стен $b_{ст}$, засыпанных доверху, принимают равной 0,18–0,22 от полной высоты стены, в зависимости от расчетных показателей грунта засыпки и положения уровня грунтовых вод в ней, а ширина поверху b_0 в первом приближении может быть принята в пределах 1–1,2 м. При наличии водопроводных галерей в стенах камер нижняя их часть имеет рамную, состоящую из стоек и ригеля, конструкцию, очертания которой определяются необходимым по площади поперечным сечением галерей. В проектной практике установились примерные наименьшие отношения толщин стоек и ригелей к размерам галерей. Боковые стенки галерей (стойки) принимаются обычно толщиной не менее $0,2b_r$, а перекрытие (ригель) – не менее $0,2h_r$.

При предварительном проектировании толщину сплошных неразрезных днищ в большинстве случаев принимают равной 0,17–0,20 свободной высоты стен камер и не менее 0,1–0,125 ширины камеры. При расположении водопроводных галерей в таких днищах камер последние выполняют рамной конструкции с толщиной перекрытия не менее 2–3 м.

Использование изложенных рекомендаций рассмотрим на примерах проектирования поперечного профиля шлюзовых камер докового типа без водопроводных галерей (рис. 7), с галереями в стенах (рис. 8) и днище (рис. 9), а также камеры на прочном скальном основании с залеганием скалы на отметках средних, между верхом стены и дном камеры (рис. 10).

Для камер, представленных на рис. 7–10, имеются одинаково определяемые параметры: уклон лицевой грани, высота парапета, ширина стены поверху b_0 , высота стены $H_{ст}$. Для камер на рис. 7–9 общим параметром является ширина стены понизу $b_{ст}$, а для камер, представленных на рис. 7, 8 – размеры вута n и t . **В рамках курсового проектирования лицевую грань рекомендуется принять вертикальной, высоту парапета – равной 1,1 м, ширину стены поверху – $b_0 = 1$ м. Остальные параметры вычисляются по следующим зависимостям:**

$$H_{ст} = h_l + H_d + a,$$

где h_l – глубина воды в камере;

H_d – напор на шлюз;

a – превышение верха стены над расчетным наивысшим уровнем воды, принимаемое для шлюзов на сверхмагистральных водных путях, не менее 2 м, магистральных – не менее 1 м, на водных путях местного значения – не менее 0,5 м;

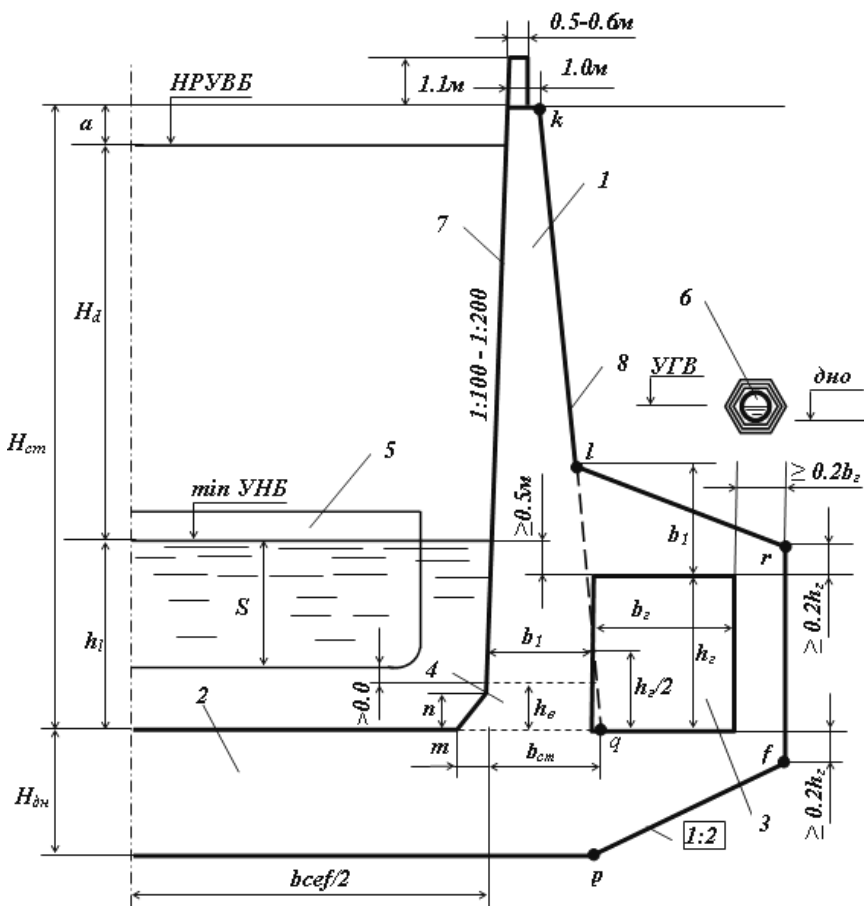
$n \leq h_l - S$, где S – осадка расчетного судна в полном грузу;

$t \leq \Delta b_s$, где Δb_s – запас по ширине между судном и стеной камеры;

$H_{дн} = \max(H_{дн} = (0,17 - 0,20)H_{ст}; H_{дн} = (0,1 - 0,125)b_{c.ef})$;

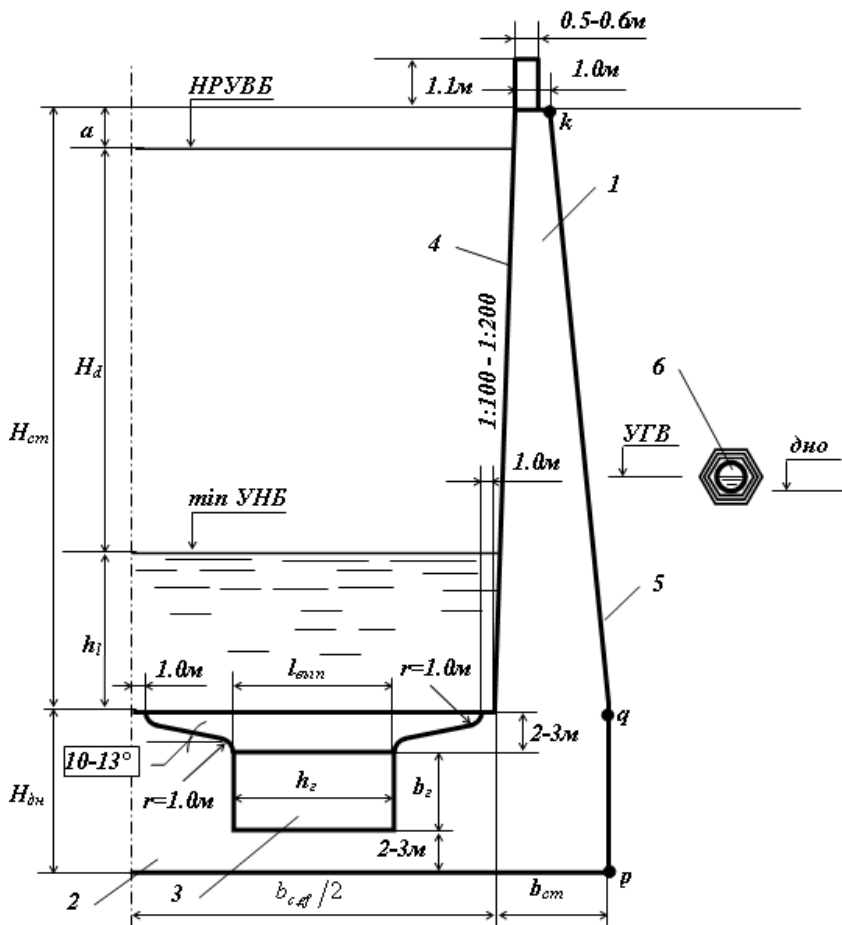
$b_{ст} = (0,18 - 0,22)H_{ст}$.

Вышеопределенных параметров достаточно для построения днища, лицевой и тыловой граней камеры шлюза с сосредоточенной системой питания (см. рис. 7). Наличие водопроводных галерей в камерах шлюзов с распределительной системой питания влечет за собой некоторые особенности в построении профиля. Если галереи располагаются в стенах, то лицевая грань, днище и тыловая грань выше галереи (выше точки l на рис. 8) строятся, как и на рис. 7, а ниже с учетом того, что верх галереи должен располагаться на 0,5 м ниже минимального уровня воды в камере, при этом потолок выпусков из галереи должен быть не выше днища расчетного судна. При размещении галерей в днище камеры (см. рис. 9) лицевая и тыловая грани стены проектируется так же, как и у шлюзов с сосредоточенной системой питания (см. рис. 7). Толщина днища $H_{дн}$ определяется суммой ширины галереи b_g , толщин перекрытия галереи и бетонного массива под галереей, которые принимаются в пределах 2–3 м. В перекрытии галереи проектируется плавно расширяющийся



1 – стена; 2 – днище; 3 – водопроводная галерея; 4 – водовывуск; 5 – корпус судна;
 6 – дренаж; 7 – лицевая грань стены; 8 – тыловая грань стены; h_r – высота водопроводной галереи; b_r – ширина водопроводной галереи; b_1 – расстояние по горизонтали от лицевой грани до точки пересечения середины высоты галереи с продолжением lq первого наклонного участка тыловой грани kl ;
 h_b – высота водовывуска из галереи

Рисунок 8 – Поперечный профиль камеры докового типа с водопроводными галереями в стенах



1 – стена; 2 – днище; 3 – галерея; 4 – лицевая грань стены; 5 – тыловая грань стены;
 6 – дренаж; $h_г$ – высота водопроводной галереи; $b_г$ – ширина водопроводной
 галереи; $l_{вып}$ – длина водовыпуска из галереи

Рисунок 9 – Поперечный профиль камеры докового типа с галереями в днище

4 РАЗРЕЗКА СООРУЖЕНИЙ ШЛЮЗА ДЕФОРМАЦИОННЫМИ ШВАМИ

Деформационные швы являются постоянно действующими элементами железобетонных и бетонных сооружений шлюза и располагаются в плоскостях, перпендикулярных оси камеры.

Назначение швов: исключить возникновение недопустимых по величине усилий, напряжений и перемещений; предотвратить образование трещин или уменьшить величину их раскрытия в бетонных и железобетонных конструкциях шлюза при неравномерной осадке основания, изменении температуры, усадке бетона при твердении или изменении внешних нагрузок. В шлюзах следует различать поперечные (расположенные в плоскостях, перпендикулярных оси шлюза) и продольные швы [2, 3].

Поперечные сквозные швы, как правило, устраиваются между головами и камерой с одной стороны, головами и причалами – с другой, а также между секциями камер и причальных и направляющих сооружений.

Виды швов:

- постоянные (температурно-осадочные, осадочные);
- временные (строительные).

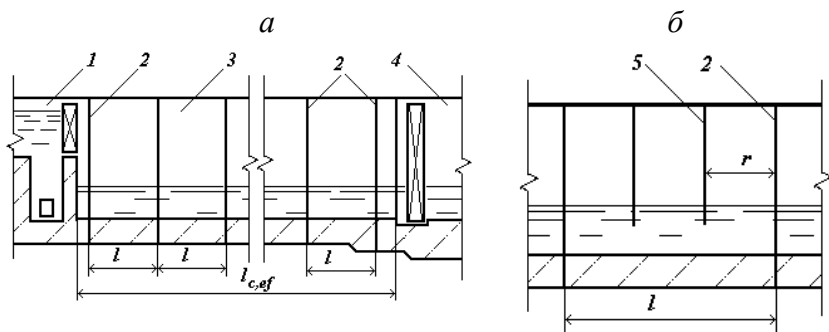
Постоянные швы должны обеспечивать возможность взаимных перемещений частей сооружений как во время строительства, так и во время эксплуатации.

Временные строительные швы должны обеспечивать:

- снижение температурно-усадочных напряжений в бетоне в процессе возведения сооружений;
- снижение усилий, вызванных неравномерной осадкой частей сооружения в строительный период;
- соблюдение требуемой интенсивности работ по возведению сооружения;
- унификацию армоконструкций, опалубки, сборных элементов и т. п.

Постоянные поперечные швы (рис. 11) могут быть сквозными, разрезающими все сооружение на отдельные секции, и несквозными – в виде надразов, проходящих в верхней части сооружения, в зонах, подверженных значительным колебаниям температуры (выше отметки $\downarrow = \min \text{УНБ} - 0,5 \text{ м}$) [2].

В первом случае швы выполняют функции температурно-осадочных, во втором – только температурных.



a – секции одинаковой длины; *б* – то же, с промежуточными швами: 1 – верхняя голова; 2 – температурно-осадочные швы; 3 – камера; 4 – нижняя голова; 5 – температурный шов; *l* – длина секции камеры; *r* – расстояние между температурными швами

Рисунок 11 – Разрезка камер шлюзов деформационными швами на секции

Расстояние между постоянными, а также временными поперечными швами в пределах камер, причальных и направляющих сооружений шлюзов зависит от климатических и геологических условий, конструктивных особенностей сооружения, последовательности производства работ и т. п. и определяется расчетом в соответствии с указаниями СНиП 2.06.08–87 «Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений».

При выполнении курсового или дипломного проекта необходимо запроектировать постоянные деформационные швы – температурно-осадочные и температурные. В первом приближении расстояния между ними могут быть приняты без расчета в соответствии со следующими рекомендациями.

В шлюзах на скальных грунтах температурные и осадочные швы обычно объединяют и устраивают сквозными от верха стен до низа фундаментной плиты или днища (рис. 11, *a*). Расстояние между ними должно быть не более 30 м. В сооружениях, расположенных на нескальных основаниях, эти расстояния, как правило, не должны превышать для сквозных температурно-осадочных швов 35 м, несквозных температурных швов – 15 м [2].

При надежном скальном основании швы могут быть только температурными. Они должны перекрываться водонепроницаемыми шпонками.

При разрезке сооружения швами следует стремиться к получению однотипных секций.

Расположение швов необходимо увязывать с размещением причальных приспособлений в камере и водовыпусков из водопроводных галерей.

Продольные постоянные швы в камерах с разрезными днищами устраиваются по оси камеры.

Ширина постоянных температурных и осадочных швов должна назначаться с учетом возможных перемещений смежных секций сооружения таким образом, чтобы они не оказывали давления одна на другую.

Толщина температурного шва не должна быть меньше величины расширения бетонного массива при колебаниях температуры в период эксплуатации и может быть определена по формуле

$$\Delta l_t = \alpha_t \Delta t l_j,$$

где α_t – коэффициент линейного расширения бетона, приблизительно равный 0,00001;

l_j – длина бетонной конструкции, равная расстоянию между швами;

Δt – величина разности средних температур наиболее жаркого и холодного месяцев, определяемая по СНиП 2.01.01–82 «Строительная климатология и геофизика».

Если шов выполняет функции температурно-осадочного, толщина его увеличивается от значений Δl_t внизу до Δl_{\max} вверху:

$$\Delta l_{\max} = \Delta l_t + \Delta l_{\text{set}}.$$

При этом

$$\Delta l_{\text{set}} = \frac{S_1 - S_2}{l_j} h_s,$$

где Δl_{set} – толщина шва, необходимая для исключения навала одной конструкции шлюза на другую при их неравномерной осадке;

S_1 и S_2 – осадки концов рассматриваемой конструкции длиной l_j , полученные соответствующим расчетом;

h_s – возвышение сечения, в котором определяется толщина шва над основанием.

Ширина температурно-осадочного шва в камере чаще всего находится в пределах 1–3 см. На практике она обычно увеличивается ступеньками от толщины в пределах днища или ниже уровня нижнего бьефа Δl_i до наибольшей толщины Δl_{\max} по верху стен шлюза.

Температурно-осадочные швы при малой их толщине создают наклейкой на торцевые грани ранее забетонированных блоков битумных матов, 2–3 слоя рубероида и тому подобных материалов. При толщине швов более 2–3 см их образуют установкой тонких дощатых щитов или песчано-битумных плиток.

Водонепроницаемость температурных и температурно-осадочных швов достигается перекрытием их уплотняющими шпонками. Из шпонок, применяемых на гидротехнических сооружениях, на толстых конструкциях судоходных шлюзов распространены внутренние шпонки с изогнутым из меди или нержавеющей стали листом, с заливкой битумными смесями и прокладкой канатов; на более тонких – тыловые и донные шпонки с упругими уплотняющими материалами (синтетическим, техническим войлоком и резиной) и битумной заливкой [6].

Специфическими для судоходных шлюзов являются лицевые шпонки с прижимным резиновым или синтетическим материалом, которые можно легко ремонтировать при зимнем осушении камеры [9].

Бетонные конструкции шлюзов, расположенные в пределах агрессивных по отношению к ним грунтовых вод, должны быть защищены от постепенного разрушения путем устройства водонепроницаемой гидроизоляции.

В шпунтовых стенах нет необходимости устраивать температурные швы, так как зазоры между отдельными шпунтинами всегда превышают возможное изменение их ширины под влиянием температуры.

При строительстве низконапорных шлюзов с водопроницаемым днищем из сборных железобетонных элементов особое внимание следует обращать на перекрытие швов между сборными элементами камерных стен. Конструкция перекрытия должна обеспечивать грунто- и водонепроницаемость швов в условиях переменного напора воды, а также быть простой в строительстве и надежной в эксплуатации.

5 ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫЕ И ДРЕНАЖНЫЕ УСТРОЙСТВА ШЛЮЗОВ

Судоходные шлюзы, как и другие напорные гидротехнические сооружения, поддерживают на занимаемых ими участках напорного фронта разность уровней воды в верхнем и нижнем бьефах гидроузла. Особенностью судоходных шлюзов является попеременность восприятия напора в процессе эксплуатации то одними, то другими частями сооружения. Действующий при этом напор очень быстро, в течение нескольких минут, возрастает от нуля до наибольшего его расчетного значения и снова падает. Поэтому, фильтрационные процессы, сопровождающие наполнение и опорожнение камер шлюзов, рассматриваются в условиях неустановившегося движения.

Условия фильтрации воды под судоходными шлюзами и в обход их в большой степени зависят от конструкции камеры (с водонепроницаемым или водопроницаемым днищем) и расположения камер шлюза по отношению к напорному фронту гидроузла (в верхнем или нижнем бьефе). Эти факторы определяют и схемы необходимых противοфильтрационных и дренажных мероприятий.

Камера с водонепроницаемым днищем представляет собой в фильтрационном отношении замкнутую коробку, которая обтекается фильтрационным потоком снизу при напорном движении воды под ней; сбоку – при безнапорном движении в обход сооружения. Такая фильтрация воды, ввиду относительно медленного изменения уровней воды в бьефах, носит установившийся характер. В шлюзах с камерами, имеющими водопроницаемое днище, общее движение фильтрационного потока из верхнего бьефа в нижний «корректируется» неустановившейся фильтрацией воды. При опорожненной камере неустановившаяся фильтрация в нее происходит из верхнего бьефа под верхней головой и из обратной засыпки под стенами. При наполненной камере – в нижний бьеф под нижней головой и в обход ее, а также в обратную засыпку под стенами.

При наиболее распространенном расположении шлюза в нижнем бьефе в напорный фронт входит верхняя голова шлюза, и условия движения фильтрационного потока в пределах других его частей определяются в основном схемой противοфильтрационных устройств верхней головы и дренажа в обратных засыпках камеры. При расположении однокамерного шлюза в верхнем бьефе в напор-

ный фронт входит нижняя его голова. В этом случае условия движения фильтрационного потока под шлюзом и в обход его определяются не только схемой противофильтрационных устройств у этой головы и дренажем в обратной засыпке камеры, но и самой схемой засыпки.

При расположении камеры шлюза в нижнем бьефе и отсутствии при этом дренажных устройств в обратной засыпке камеры уровень фильтрационных вод падал бы в ней постепенно от уровня верхнего бьефа перед верхней головой до уровня нижнего бьефа за нижней головой. Уровень воды за стенами стоял бы очень высоко. Это сильно утяжеляет конструкции стен и днищ камер. Так как суммарная длина голов и камеры шлюза со сплошными днищами, как правило, превышает необходимую и безопасную длину путей фильтрации под сооружением и в обход его, для понижения уровня грунтовых вод за стенами устраивают открытый (см. рис. 1, а, б) и закрытый (рис. 1, в; рис. 4, 5) дренажи. Они удерживают наивысший уровень грунтовых вод за камерными стенами на определенной отметке, промежуточной между отметками верхнего и нижнего бьефов.

При значительных колебаниях уровней нижнего бьефа дно дренажа за стенами камеры однокамерного шлюза следует располагать у нижних голов немного (на 1 м) выше наивысшего уровня этого бьефа с расчетной вероятностью превышения в 10 % для шлюзов на магистральных водных путях и 20 % – для шлюзов на водных путях местного значения [1]. ***При выполнении курсового проекта в качестве наивысшего уровня можно принять паводочный уровень нижнего бьефа (ПУНБ) из задания на проектирование.***

Во всех случаях, когда это возможно по компоновке гидроузла и планировке шлюзовой территории, предпочтительнее открытые, трапецеидальные дренажи, легкодоступные для ремонта. Они имеют вид глубоких кюветов с дном и откосами, покрытыми обратными фильтрами и креплением (см. рис. 1, а, б; рис. 12). Фильтрационные воды из них выводятся в нижний бьеф дренажными трубами (обычно в районе нижних палов). На сверхмагистральных и магистральных водных путях закрытые дренажи шлюзов, расположенные в песчаной засыпке, следует выполнять проходными с вертикальными колодцами не реже, чем через 50 м для обеспечения надежной их работы и возможности ремонта. На водных путях местного значения дренажи шлюзов могут выполняться трубчатые-

ми, чистка их может производиться через смотровые колодцы, поэтому диаметр труб должен быть не менее 0,5 м.

В отдельных случаях, в частности при наличии в основании шлюзов прослоек грунтов с напорными водами, горизонтальные дренажи приходится дополнять вертикальными разгрузочными скважинами.

Дренажи вдоль камер шлюзов должны устраиваться с продольным уклоном не менее $i = 1 : 500$ в сторону нижнего бьефа, чтобы в них не застаивалась вода (при возможной осадке дренажа из-за неравномерных осадок засыпки). В плане начало дренажа обычно располагают у низовой грани верхней головы – в начале камеры (см. рис. 12).

При сплошных водонепроницаемых днищах камер шлюзов длина пути фильтрации из верхнего бьефа в дренаж камер в обход верхних голов и под ними обычно достаточно велика. Поэтому опасность представляет только сосредоточенная (контактная) фильтрация по сопряжении обратной засыпки с поверхностью бетона тыловых граней голов.

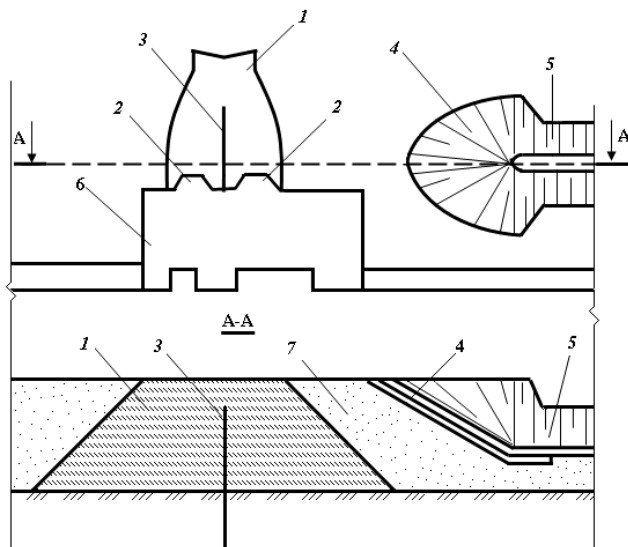
Для ограничения контактной фильтрации вдоль тыловых граней верхних голов обычно выполняют засыпку их пазух из маловодопроницаемых связных грунтов. Но около бетона устоев голов трудно хорошо уплотнить грунты, особенно глинистые и суглинистые. Кроме того, обратные засыпки верхних голов, устраиваемые даже из достаточно пластичных при укладке связных грунтов, часто теряют влажность; некоторые разновидности суглинков сжимаются. Все это, как показал опыт строительства ряда шлюзов, приводило к тому, что к началу эксплуатации в некоторых случаях глинистые засыпки верхних голов отставали от бетона, что вызывало сосредоточенную фильтрацию вдоль тыловых граней голов при подъеме напора. Поэтому для предотвращения опасной контактной фильтрации вдоль голов необходимо принимать конструктивные меры:

а) устраивать выступы бетона на тыловых гранях головы или забивать в глиняную шпору, перпендикулярную устью головы, короткую, около 10 м, линию металлического шпунта (см. рис. 12);

б) возводить низовую часть обратной засыпки голов из песка, что обеспечивает заиливание возможных щелей между глинистой обратной засыпкой и бетоном головы после того, как она примет напор;

в) расширять и усиливать начальные участки дренажа.

Не следует придавать тыловым граням голов уклона в сторону обратной засыпки, а также устраивать на них горизонтальные выступы и консоли.



1 – суглинистая шпора; 2 – выступы из тыловой грани устья головы;
3 – стальной шпунт; 4 – обратный фильтр; 5 – открытый дренаж; 6 – устой головы;
7 – песчаная часть обратной засыпки

Рисунок 12 – Противофильтрационные мероприятия у верхней головы шлюза

Такие выступы, имеющиеся на ряде построенных шлюзов, сильно затрудняют борьбу с фильтрацией при постановке шлюза под напор, а в дальнейшем – эксплуатационные ремонтные работы, в частности по досыпке осевших засыпок.

Условия фильтрации воды вокруг верхней головы в дренаж камеры отличаются в тех случаях, когда: а) камера расположена в теле основного земляного напорного сооружения; б) к верхней голове шлюза подведены напорные дамбы, а через нижнюю проходят насыпи дорог.

В первом случае дренаж собирает воду только у верхней головы шлюза, так как фильтрующая через тело напорного земляного сооружения вода перехватывается его дренажем.

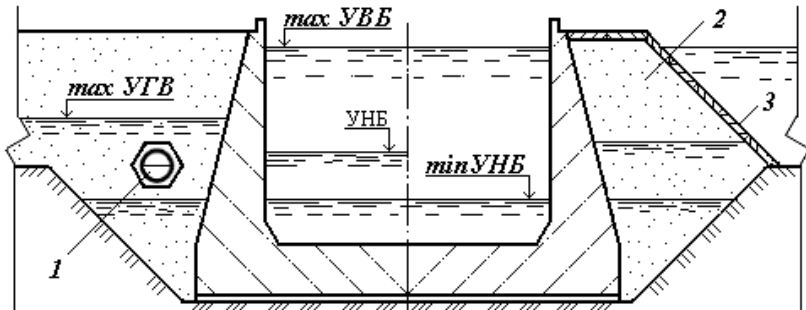
Во втором случае воду, собранную дренажем дамб, примыкающих к верхней голове, рекомендуется отводить в нижний бьеф через голову, а не по трубам под дорожными насыпями у нижних голов, как это иногда делалось. При расположении камеры шлюза в верхнем бьефе чаще всего встречаются два типичных случая, существенно различающихся в фильтрационном отношении.

В первом случае верхняя голова и камера не обсыпаны доверху (см. рис. 6), весь напор сосредоточивается на нижней голове, входящей в состав напорного фронта гидроузла.

Во втором случае камера имеет широкую или узкую обсыпку (рис. 13). Узкая обсыпка выполняется для создания пришлюзовой площадки и уровень грунтовых вод в ней формируется в зависимости от уровней верхнего и нижнего бьефов. В широкой обсыпке камеры расположен закрытый дренаж; при этом ширина обсыпки и плановое положение дренажа в ней определяется как фильтрационной работой дренажа, так и необходимостью обеспечить возможность зимней раскопки дренажа для ремонта без снижения подпорного уровня воды.

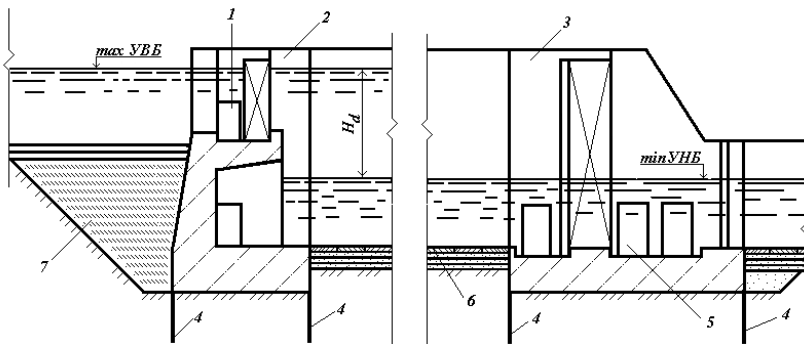
Выбор между вторым вариантом, при котором на нижней голове шлюза необходимы более простые противофильтрационные мероприятия из-за падения уровня вода в засыпке перед головой, и первым, где эти мероприятия сложнее и дороже, но затраты по камере шлюза и обсыпке меньше, производится при технико-экономическом их сравнении. Следует отметить, первый вариант используется чаще, особенно при расположении шлюза на скальном основании.

При водопроницаемом днище камеры каждая из голов шлюза является в фильтрационном отношении самостоятельным подпорным сооружением, воспринимающим напор, равный наибольшей разности уровней воды перед соответствующей головой и за ней. Поэтому каждая из голов должна иметь самостоятельный достаточно развитый подземный контур. Он включает в себя обычно, кроме днища и устоев голов, понуры, шпунты, обратные фильтры и дренажи (рис. 14). На верхних головах со стенкой падения понур, как правило, удлиняют, забивая глинистым грунтом глубокую верхнюю пазуху.



1 – закрытый дренаж в широкой обратной засыпке; 2 – узкая обсыпка, образующая пришлозовую площадку; 3 – крепление откоса пришлозовой площадки;
 max УГВ – наивысший уровень грунтовых вод в широкой обратной засыпке
 Рисунок 13 – Схема камер шлюзов в верхнем бьефе

Подпорными сооружениями являются в данном случае и камерные стены, под которыми при наполненной камере происходит фильтрация в обратную засыпку; при последующем же опорожнении идет фильтрация воды из обратной засыпки в камеру (см. рис. 1, а). Такие условия фильтрации вызывают зачастую необходимость устройства достаточно развитого подземного контура камерных стен, включающего шпунтовый ряд вдоль стены, а также крепление дна камеры на обратном фильтре.



1 – водопроводная галерея для наполнения шлюза; 2 – верхняя голова;
 3 – нижняя голова; 4 – шпунтовый ряд по торцам верхней и нижней голов;
 5 – водопроводная галерея для опорожнения шлюза; 6 – крепление, уложенное на трехслойном обратном фильтре; 7 – глиняный понур

Рисунок 14 – Продольный разрез шлюза с водопроницаемым дном

По мере увеличения напора на шлюзы с водопроницаемыми днищами приходится расширять границы подземного контура голов, особенно при песчаных грунтах основания. Поэтому иногда устраивают примыкающую к голове секцию камеры со сплошным железобетонным днищем.

Схемы противofильтрационных и дренажных устройств шлюзов на скальных основаниях разрабатываются в зависимости от качества слагающих их пород и положения кровли скалы относительно дна камеры. При слабых скальных (и полускальных) грунтах, которые требуют устройства в камере водонепроницаемых днищ – сплошных или на анкерах – и поверхность которых залегает ниже наинизшего уровня нижнего бьефа, схемы противofильтрационных и дренажных устройств мало отличаются от описанных выше для шлюзов на не-скальных основаниях с водонепроницаемыми днищами. Только вместо шпунтов в их подземный контур входят зубья и цементационные завесы, а в фильтрационных расчетах учитывается различная водопроницаемость обратных засыпок и скального основания.

При хорошем качестве скалы на дне камеры ее оставляют в естественном состоянии, в пределах стен камеры покрывают облицовкой, а дренаж закладывается по кровле хорошей скалы, которая принимается при фильтрационных расчетах за водоупор (см. рис. 5).

При высоком залегании кровли хорошей скалы (считая выветрелый слой ее снятым) соответственно повышают отметку дренажа, а камерные стены часто оставляют необсыпанными.

В случае расположения камеры в нижнем бьефе для уменьшения давления воды на облицовку за ее верхней частью закладывают дренажные трубы, вода из которых выводится в нижний бьеф выше его наивысшего уровня.

Такая схема не рекомендуется при скальных породах (например, карбонатных), при которых отложения из дренажных вод могут со временем засорять дренажные трубы.

Список использованных источников

1. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения: ТКП 45-3.04-171–2009 (022550). – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2010. – 56 с.
2. Пособие по проектированию судоходных шлюзов к СНиП 2.06.07–87. – М.: Гидропроект, 1988. – 352 с.
3. Михайлов, А.В. Статические расчеты камер судоходных шлюзов / А.В. Михайлов, С.Н. Левачев, Колесников Ю.М. – М.: МИСИ, 1989. – 99 с.
4. Михайлов, А.В. Судоходные шлюзы / А.В. Михайлов. – М.: Транспорт, 1966. – 528 с.
5. Семанов, Н.А. Судоходные каналы, шлюзы и судоподъемники / Н.А. Семанов, Н.Н. Варламов, В.В. Баланин. – М.: Транспорт. 1970. – 352 с.
6. Михайлов, А.В. Внутренние водные пути / А.В. Михайлов. – М.: Стройиздат, 1973. – 328 с.
7. Михайлов, А.В. Водные пути и порты / А.В. Михайлов, С.Н. Левачев. – М.: Высшая школа, 1982. – 222 с.
8. Гидротехнические сооружения комплексных гидроузлов: учебное пособие / П.М. Богославчик [и др.]; под ред. Г.Г. Круглова. – Минск: БНТУ, 2006. – 585 с.
9. Михайлов, А.В. Гидросооружения водных путей, портов и континентального шельфа: в 3 ч. / А.В. Михайлов. – М.: АСВ, 2004. – Ч.1: Внутренние водные пути. – 448 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.	3
1 Конструкции камер шлюзов.	4
2 Выбор конструкции камеры шлюза.	10
2.1 Выбор конструкции камеры шлюза на нескальном основании.	10
2.2 Выбор конструкции камеры шлюза на скальном основании.	12
3 Проектирование поперечного профиля камер шлюзов.	14
4 Разрезка сооружений шлюза деформационными швами.	21
5 Противофильтрационные и дренажные устройства шлюзов.	25
Список использованных источников.	32

Учебное издание

БОГДАНОВИЧ Михаил Иванович

КОНСТРУКЦИИ КАМЕР
СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗОВ

Методическое пособие по выполнению курсового проекта
на тему «Судоходный шлюз»
по дисциплинам «Водные пути и порты»,
«Водные пути и технический флот»
для студентов специальностей 1-70 04 01
«Водохозяйственное строительство»,
1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая
эксплуатация водного транспорта»

Редактор Т.В. Кипель
Компьютерная верстка А.Г. Занкевич

Подписано в печать 07.03.2012.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,98. Уч.-изд. л. 1,55. Тираж 100. Заказ 1094.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.
Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.