

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

Кубанский государственный аграрный университет

И.В. Завгородняя, И.В. Иванова, В.Т. Островский

РАСЧЕТ ФЛЮТБЕТА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Методические указания для практических занятий

Краснодар 2013

УДК 624.159.1 (076)

ББК 38.78

З 13

Рецензент: к.т.н., доцент Ванжа В.В.

Завгородняя И. В.

Расчет флютбета гидротехнических сооружений: метод. указания для практ. занятий / И. В. Завгородняя, И. В. Иванова, В. Т. Островский. - Краснодар: Кубанский госагроуниверситет, 2013. – 36 с.

Методические указания предназначены для бакалавров и магистров направления 280100.62 «Природообустройство и водопользование»

Приводятся основные вопросы проектирования флютбета и методы расчета, необходимые теоретические и справочные материалы для конструирования форм и размеров флютбета гидротехнических сооружений, выполнения фильтрационных расчетов и определения его устойчивости.

Рекомендовано к изданию методической комиссией факультетов водохозяйственного строительства и мелиорации, водоснабжения и водоотведения.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Общие вопросы проектирования флютбета	5
2 Расчет параметров флютбета по методу линейно-контурной фильтрации (ЛКФ)	12
3 Расчет фильтрации под флютбетом гидросооружения по методу гидродинамической сетки	17
4 Расчет устойчивости флютбета на сдвиг (пример)	22
Приложения	27
Список использованных источников	36

ВВЕДЕНИЕ

Слово «флютбет» происходит от немецких слов Flut – «поток» и Bett – «ложе».

При проектировании гидротехнических сооружений особое внимание уделяют их устойчивости, которая обеспечивается правильно подобранной конструкцией и размерами флютбета.

Решение задач гидротехнического расчета позволяет оптимизировать технические параметры подземного контура сооружений с учетом взаимодействия их с фильтрационным потоком.

Настоящие методические указания содержат теоретические предпосылки, применяемые при конструировании флютбета гидротехнических сооружений, а также методы расчета и проверки устойчивости сооружения. Приведенные примеры расчета и справочный материал позволяют активно приобретать навыки конструирования для различных условий строительства и эксплуатации сооружений.

1 ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФЛЮТБЕТА

Под действием напора под гидротехническими сооружениями и в обход их происходит активная фильтрация воды.

Под *фильтрацией* понимается движение жидкости или газа в пористой или трещиноватой (скальной) среде. Пространство, занятое потоком в таких породах, называется *областью фильтрации*. В гидротехнических сооружениях причиной фильтрации в грунтовом основании является разность уровней воды между бьефами.

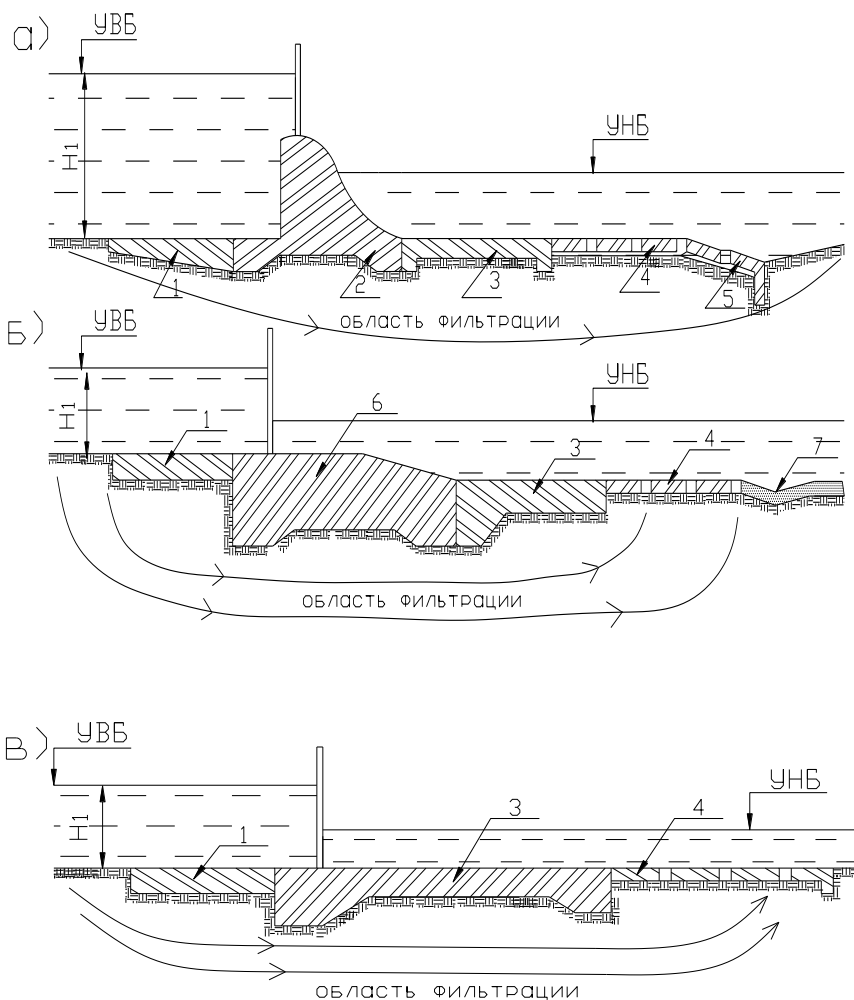
Если само сооружение маловодопроницаемо (бетон, железобетон, камень), а грунт представляет собой легкопроницаемую для воды массу, то поток грунтовой воды не имеет свободной поверхности и является *напорным*. Такой поток оказывает на подошву сооружения гидродинамическое (фильтрационное) давление. Для защиты сооружения от действия грунтового потока устраивают *флютбет*, т.е. флютбет – это подземная часть сооружения.

Флютбет – основная часть гидротехнического сооружения, образующая ложе для прохождения через него потока.

Флютбет служит для безопасного пропуска поверхностного потока воды из верхнего бьефа в нижний и гашения энергии фильтрационного потока.

В речных сооружениях составными частями флютбета являются *понура, тело плотины, водобой, рисберма и концевой участок (ковш)*. Такой состав флютбета характерен для высоконапорных и средненапорных сооружений (рисунок 1 а). В сооружениях с низким порогом вместо тела плотины устраивают водосливной порог, который располагается на уровне понура или несколько выше его (рисунок 1 б).

В гидромелиоративных сооружениях на каналах водосливной порог и водобой объединяются в единую монолитную плиту (рисунок 1 в), т.е. флютбет состоит из трёх частей: понура, водобоя и рисбермы.



а ,б, в – сооружения соответственно высоконапорные и средненапорные, с низким порогом, гидромелиоративные; 1 – понур; 2 – тело плотины; 3 – водобой; 4 – рисберма; 5 – концевой участок; 6 - водосливной порог; 7 – ковш.

Рисунок 1 – Составные части флютбета

Понур – укрепляет русло потока перед сооружением, защищает его от размыва поверхностным потоком и служит связующим звеном между естественным ложем реки или канала и собственно сооружением. Его устраивают из водонепроницаемого материала: глины, глинобетона, бетона, железобетона, полимерных материалов и др.

Вследствие водонепроницаемости понур увеличивает длину фильтрационного потока под сооружением, является средством гашения напора,

снижает его действие на водобойную часть флютбета, за счёт чего уменьшает расход и скорость фильтрации.

Таким образом, понур необходим для защиты от размыва грунта перед сооружением и увеличения длины фильтрационного потока.

Длина понура определяется двумя условиями:

- неразмываемостью русла перед понуром при пропуске воды через сооружение (водослив, щит, труба).

- гашением напора фильтрационного потока.

Длину понура назначают в зависимости от глубины воды в верхнем бьефе H_1 и типа сооружения:

- | | |
|---|---------------------|
| - регуляторы-водовыпуски и подпорные сооружения | – $(0 - 2) H_1$; |
| - сопрягающие сооружения | - $(2 - 3) H_1$; |
| - промывные сооружения | - $(1 - 4) H_1$; |
| - водосливные плотины | - $(0 - 2) H_1$; |
| - деревянные плотины | - $(1,5 - 2,5) H_1$ |

Толщину понура назначают конструктивно.

Минимальную толщину глиняного и глинобетонного понура принимают:

- | | | | |
|------------------|----------------|----------------------|----------------|
| При $H_1 < 5$ м | – 0,4 – 0,5 м; | при $H_1 = 5 - 10$ м | - 0,5 – 0,6 м; |
| при $H_1 > 10$ м | - 0,75 м. | | |

Наибольшую толщину понура иногда принимают по формуле:

$$t_{\max} = 0,75 + 0,05 H_1 \quad (1)$$

Толщину понура из суглинка принимают на 20 – 30 % больше глиняного.

Водобой – является основной частью сооружения. Он предназначен воспринимать удары падающей воды при переливах через водосливы и создавать безопасные условия протекания её при увеличенной скорости в зоне

прыжкового сопряжения или при его отгоне. Водобой, как водонепроницаемая часть, также служит средством гашения напора фильтрационного потока.

Таким образом, водобой воспринимает динамические нагрузки движущейся с большими скоростями падающей воды.

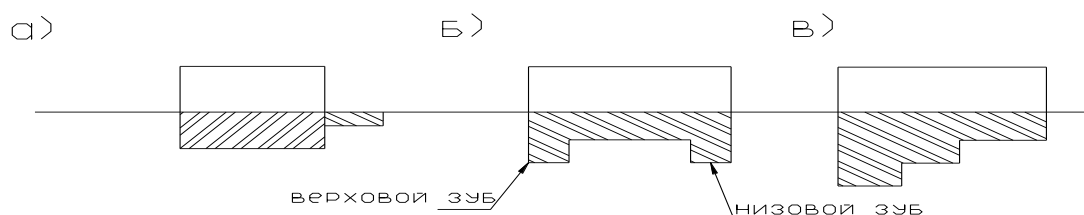
Длину водобоя назначают по гидравлическому расчёту и по условиям размещения затворов, подъёмников, служебного и проездного мостов, а при необходимости её увеличивают как противофильтрационное устройство для подземного потока.

Ориентировочно длину водобоя можно назначить в следующих пределах:

- регуляторы-водо выпуски и подпорные сооружения – $(2 - 4) H_1$;
- водосливные плотины и промывные сооружения – $(3 - 5) H_1$;
- деревянные плотины – $(2 - 3) H_1$.

Толщина водобоя определяется из расчёта устойчивости против выпирающего усилия воды снизу; класса сооружения; вида грунта и непосредственно конструкции водобоя.

Варианты конструкции водобоя приведены на рисунке 2.



- а) – плоский с жесткой риббермой; б) – с верховым и низовым зубом;
- в) – уменьшающейся толщины в соответствии с падением напора.

Рисунок 2 – Варианты конструкции водобоя

Рисберма – предназначена для выполнения следующих четырёх задач:

- укреплять русло потока за водобоем от размыва;
- создавать свободный выход подземному потоку, т.е. она должна быть водопроницаемой;
- тормозить донные скорости и тем самым приближать распределение скоростей по живому сечению к бытовому в конце рисбермы;
- защищать лежащий под ней грунт от вымыва подземным потоком и повышать устойчивость его против выпирания.

Для решения этих задач рисберму при необходимости оборудуют обратными фильтрами, а поверхность устраивают шероховатой.

Таким образом, рисберма предназначена для гашения повышенных скоростей на водобое до бытовых скоростей в русле и защиты грунта в нижнем бьефе от размыва. Состоит рисберма из трёх основных частей: жёсткой, гибкой и ковша.

Длина рисбермы должна быть достаточной для гашения скорости потока до безопасной величины, исключаящей размыв в отводящем русле:

- за регулятором - $(3 - 5) H_2$;
- за промывными сооружениями - $(5 - 8) H_2$,

где H_2 – глубина воды в нижнем бьефе.

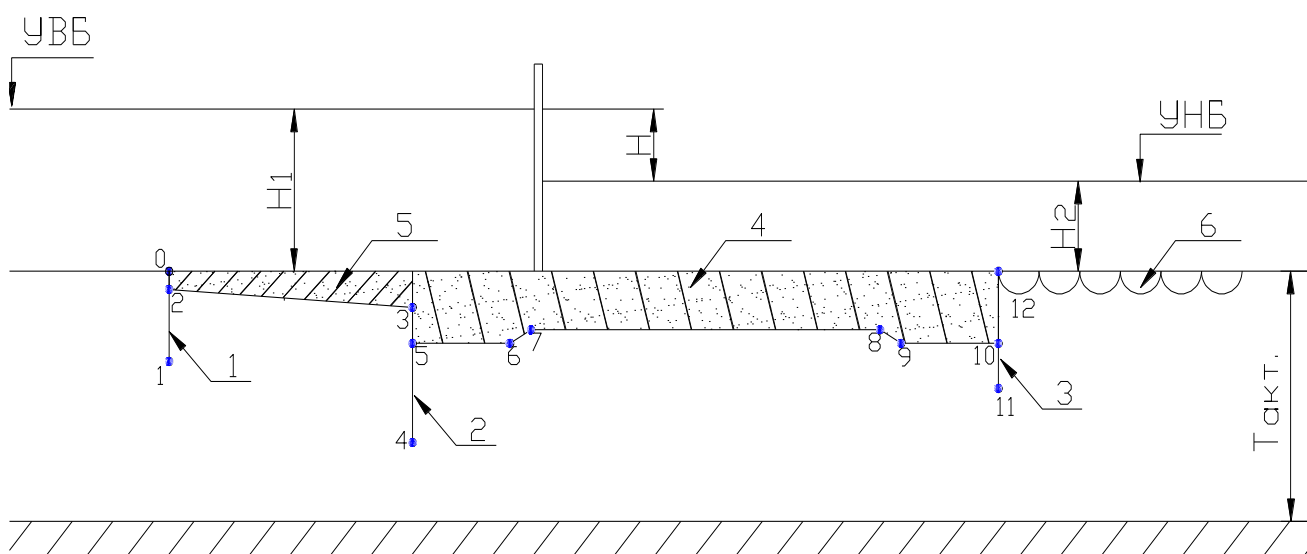
Толщина рисбермы может быть 0,5 – 4,0 м.

Линия контакта между грунтом основания и подошвой флютбета называется *подземным контуром*. В ней различают водонепроницаемые и водопроницаемые участки, однако в фильтрационных расчетах принято к подземному контуру относить только водонепроницаемые части флютбета, на длине которых происходит гашение напора.

С целью уменьшения фильтрационного давления в пределах подземного контура флютбета устраивают зубья и шпунтовые стенки. Они включаются в подземный контур флютбета.

Шпунтовые стенки ставят в начале понура (только при анкерном понуре), в стыке понура с водобоем (королевая или верховая) - для снижения

фильтрационного давления на водобойную часть, в конце водобоя (низовая) – для уменьшения выходных скоростей фильтрации и выходных градиентов напора, а следовательно, для устранения возможности развития суффозии или контактного выпора. В то же время шпунтовая стенка в конце водобоя может вызывать некоторое увеличение фильтрационного давления на водобой.



1,2,3 – понурная, королевая и водобойная шпунтовые стенки; 4 – водобой; 5 – понур; 6 – рисберма; точками 0-1-2-3-...-12 - обозначен подземный контур флютбета.

Рисунок 3 – Схема расположения шпунтовых стенок в подземном контуре

Мощность активной зоны фильтрации принимается равной (0,3-0,4) от величины водонепроницаемой части флютбета.

На основании анализа работы и оценки положительного и отрицательного эффектов шпунтовых стенок П.Ф. Фильчаков показал, что устройство небольшого шпунта или зуба в конце водобоя весьма желательно и не вызывает опасного повышения суммарного противодействия на водобойную часть, когда его глубина находится в следующих пределах

$$S_B = (0,02 - 0,05) B, \quad (2)$$

где S_B – глубина низового шпунта или зуба, м;

B – горизонтальная проекция водонепроницаемых частей флютбета, м.

Забивать шпунтовые стенки на глубину менее 2 м не рекомендуется.

Толщину низового зуба назначают конструктивно и обычно принимают равной толщине плиты в конце водобоя.

Расстояние между понурной и королевой шпунтовыми стенками принимают не менее суммы их глубин.

В подземном контуре различают вертикальные (зубья, диафрагмы, шпунтовые стенки) и горизонтальные (подошва понура, тела плотины, водобоя) пути фильтрации. Подземный контур, вытянутый в одну горизонтальную линию, называется *развернутой длиной*.

2 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ФЛЮТБЕТА ПО МЕТОДУ ЛИНЕЙНО-КОНТУРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ (ЛКФ)

Принято считать, что фильтрационный поток в грунте основания под флютбетом движется в сторону нижнего бьефа. Условная элементарная струйка фильтрационного потока строго огибает подземный контур флютбета по линии контакта сооружения с грунтом основания от точки 0 до точки 11 (рисунок 4). Такое допущение позволяет рассчитать теоретическую длину подземного контура флютбета по формуле

$$L = C \cdot H, \quad (3)$$

где C – уклонный коэффициент, зависящий от рода грунта;

H – напор на сооружении, м.

Пример. Дано: $H_1 = 5$ м; $H_2 = 2$ м; $\gamma_{\text{кл.}} = 2,4$ т/м³ – объёмная масса кладки флютбета. Грунт основания – песок мелкий.

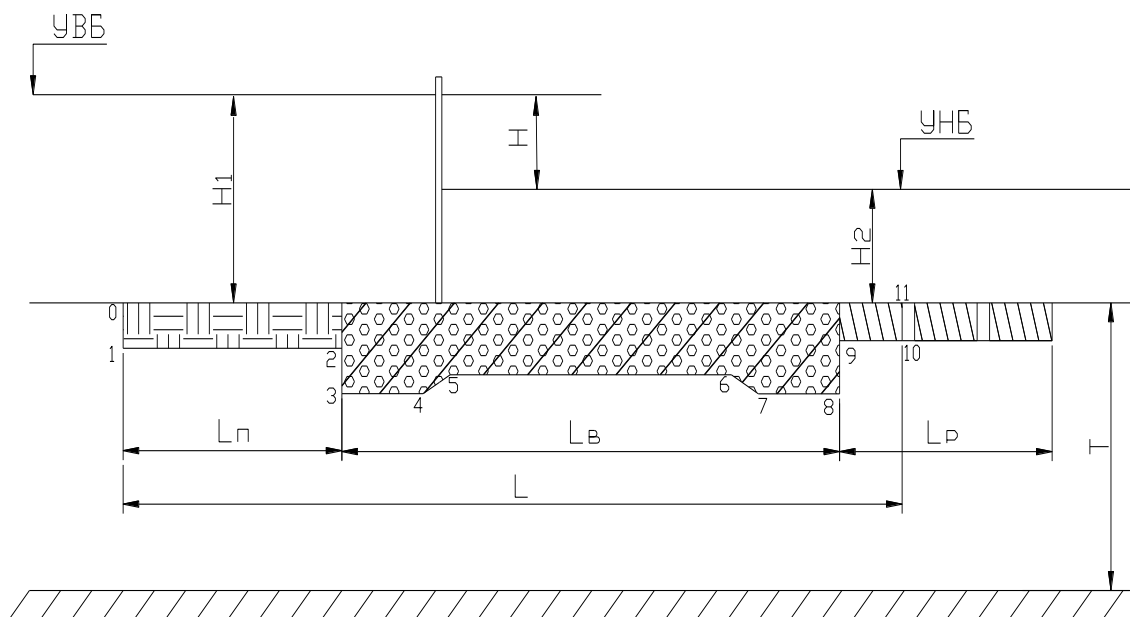


Рисунок 4 - Общая схема флютбета

Порядок расчёта:

Для предварительных расчётов конструктивно назначаем толщину всех частей флютбета $t_{cp} = 0,5$ м. Тип сооружения – регулятор-водовыпуск.

1. Исходя из анализа исходных данных с учётом нормативных требований назначаем длину частей флютбета:

$$L_{п} = H_1 = 5 \text{ м}; L_{в} = 4 H_1 = 20 \text{ м}; L_{р} = 4 H_2 = 8 \text{ м}.$$

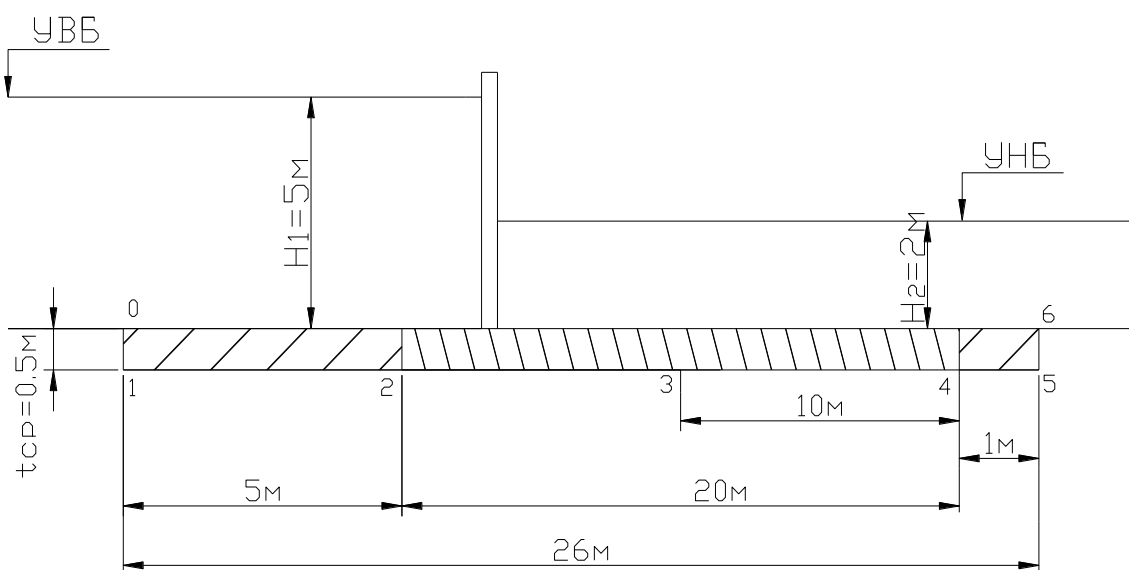


Рисунок 5 - Расчётная схема

Для расчёта отметим характерные точки по длине подземного контура флютбета 0-1-2-3-4-5-6. Точку 3 назначаем на середине длины водобойной части.

2. Определяем фактическую длину развёрнутого контура флютбета (*его водонепроницаемой части*) с учетом назначенных размеров флютбета и проверяем выполнение условия по зависимости (4):

$$L_{\text{фак.}} \geq L_{\text{доп.}} \quad (4)$$

$$L_{\text{доп.}} = C \cdot H,$$

Таблица 1 – Значения уклонного коэффициента для различных грунтов

Грунт	C	Грунт	C
Глинистые	8	Галечниковые	3
Мелкопесчаные	6	Торф разложившийся	8
Среднепесчаные	5	Торф неразложившийся	5
Крупнопесчаные	4	Лёссовые	4-3,5
Гравелистые	3,5	Суглинистые	3,5-3,0

$$H = \nabla_{УВБ} - \nabla_{УНБ} = 105 - 102 = 3 \text{ м}$$

$$L_{\text{фак.}} = 0,5 + 5 + 20 + 1 + 0,5 = 27 \text{ м}$$

$$L_{\text{доп.}} = 6 \cdot 3 = 18 \text{ м}$$

$$27 \text{ м} > 18 \text{ м}$$

3. Проверяем толщину водобойной части флютбета в заданной точке по формуле:

$$t_x = n \cdot \frac{\gamma \cdot h_x}{\gamma_{\text{кл}} - \gamma}, \quad (5)$$

где n – коэффициент запаса, принимается в зависимости от класса сооружения (0,85-1,2); принимаем $n = 1$;

γ – объёмная масса воды ($\gamma = 1 \text{ т/м}^3$);

$\gamma_{\text{кл.}}$ – объёмная масса материала флютбета;

h_x – напор фильтрационного потока в рассматриваемой точке, м.

4. Для определения h_x в масштабе строим эпюру фильтрационного давления на развёрнутом контуре подземной части флютбета, которая формируется действующим напором H на сооружении (рисунок 6). В методе ЛКФ

предполагается, что падение напора от величины H до 0 происходит по всей длине подземного контура равномерно.

М 1:100

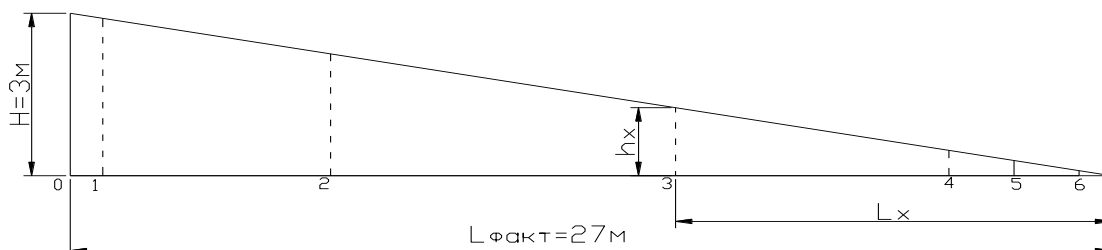


Рисунок 6 – Эпюра давления фильтрационного потока на развернутом контуре флютбета

Также значения h_x можно вычислить по формуле:

$$h_x = \frac{H \cdot L_x}{L_{\text{факт.}}}, \quad (6)$$

где L_x – расстояние от конца флютбета до рассматриваемой точки, м.

Результаты вычислений сводим в таблицу 2.

Таблица 2 – Определение толщины флютбета

Точка	0	1	2	3	4	5	6
L_x , м	27,0	26,5	21,5	11,5	1,5	0,5	0
h_x , м	3,00	2,94	2,39	1,28	0,17	0,06	0
t_x , м	-	-	1,71	0,91	0,12	0,04	-

При фильтрационных расчётах за плоскость сравнения может быть принята любая горизонтальная плоскость, относительно которой вычисляется напор. Для упрощения расчётов за плоскость сравнения принимают плос-

кость, проходящую по уровню воды в нижнем бьефе. Тогда дно верхнего бьефа будет представлять собой линию равного напора, соответствующего действующему напору H , дно нижнего бьефа будет иметь нулевой напор.

Следовательно, на участке 1-2 пригружающее усилие воды ВБ больше выпирающего усилия со стороны фильтрационного потока ($3 \text{ м} > 2,94 \text{ м}$), поэтому толщину понура на этом участке принимаем конструктивно с учётом условий работы этой части флютбета. На других участках уточняем толщину флютбета с учетом выполненного расчета.

В конце водобоя устраиваем низовой зуб для снижения выходных градиентов (или скоростей) фильтрации, а следовательно, для устранения возможностей развития суффозии или деформаций контактного выпора, защиты основания регулирующего сооружения от подмыва поверхностным потоком.

Глубину зуба определяем по формуле П.Ф. Фильчакова

$$S_B = (0,02-0,05)B,$$

$$B = 5 + 20 + 1 = 26 \text{ м}$$

$$S_B = 0,03 \cdot 26 = 0,78 \approx 0,8 \text{ м}$$

Толщину верхового и низового зубьев назначаем конструктивно 1,7 м.

После назначения размеров и уточнения толщины флютбета в масштабе строим окончательную схему флютбета и проверяем его устойчивость на сдвиг (см. раздел 4).

3 РАСЧЕТ ФИЛЬТРАЦИИ ПОД ФЛЮТБЕТОМ ГИДРОСООРУЖЕНИЯ ПО МЕТОДУ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СЕТКИ

Гидродинамическая сетка – это изображение направления элементарных струек воды (траекторий движения) и линий, вдоль которых напоры везде одинаковые.

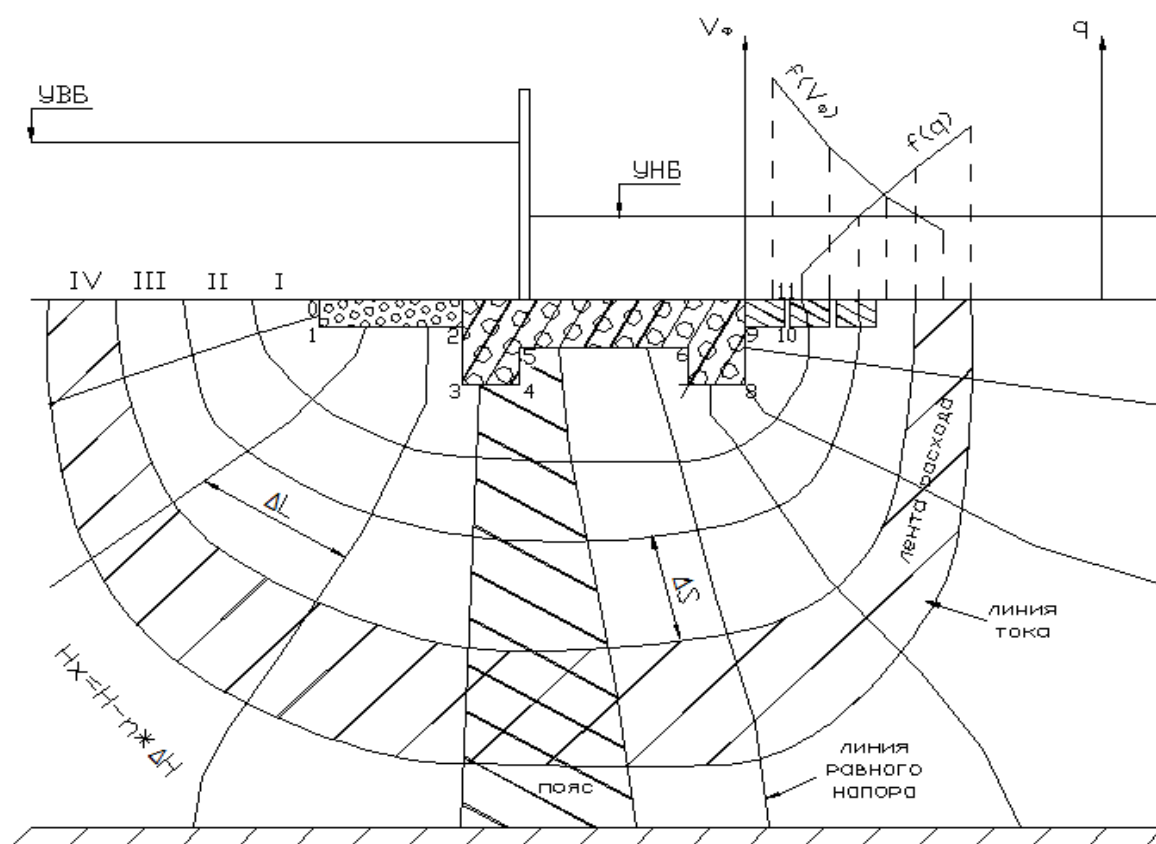


Рисунок 7 – Гидродинамическая сетка

Линии, входящие в грунт основания от линии дна ($\nabla_{осн.}$) в верхнем бьефе и выходящие к линии дна в нижнем бьефе, называются *линиями токов*, а линии, идущие от подземного контура к водоупору – *линии равного напора*.

Полосу, ограниченную соседними линиями тока, называют *лентой расхода*, а полосу между линиями равного напора – *поясом давлений*.

Подземный контур является первой линией тока, а водоупор - последней. Дно верхнего бьефа, где напор равен напору на сооружении, является первой линией равного напора.

Область фильтрации, занятую гидродинамической сеткой, разбивают линиями тока и линиями равного напора на «криволинейные квадраты» с равными диагоналями.

При построении гидродинамической сетки необходимо выполнять следующие требования:

1. Линии тока и линии равного напора должны пересекаться под прямыми углами (быть ортогональны).

2. Линии равного напора в точках примыкания к контуру сооружения и к линии водоупора должны быть ортогональны.

3. Линии тока в точках примыкания к линиям дна верхнего и нижнего бьефов должны быть также ортогональны.

4. Сетка давления должна быть образована «криволинейными квадратами».

5. Если линия водоупора находится на значительной глубине, то линия тока, расположенная на глубине активной зоны фильтрации, принимается условно за линию водоупора. $T_{\text{акт.}} = 2,5 B$, где B – горизонтальная проекция водонепроницаемой части флютбета.

Гидродинамическая сетка обладает следующими *свойствами*: через каждую ленту расхода проходит одинаковый расход, а в пределах каждого полного пояса давления гасится одинаковый напор $\Delta H = \frac{H}{\Pi}$, где Π – заданное количество поясов. Н.: если $\Pi = 10$, то следовательно в каждом поясе гасится одна десятая часть всего действующего на сооружение напора. Скорости в пределах ленты расхода непостоянны (неравномерное движение), чем больше размер квадрата, тем меньше скорость и наоборот. Это объясняется тем,

что через каждый квадрат проходит одинаковый расход, а скорость определяется как $V = \frac{Q}{\omega}$, поэтому, чем больше площадь квадрата, тем меньше скорость.

По гидродинамической сетке можно определить все параметры фильтрационного потока – напоры, скорости и фильтрационные расходы.

Порядок построения гидродинамической сетки.

1. Определяем точки примыкания линий равного напора к контуру сооружения. Для этого задаёмся количеством поясов (Н: $\Pi = 10$) и на эпюре напоров величину напора Н разбиваем на одинаковые отрезки равные величине ΔH (количество отрезков равно количеству поясов). Из этих точек проводим горизонтальные линии до эпюры и опускаем вертикальные линии.

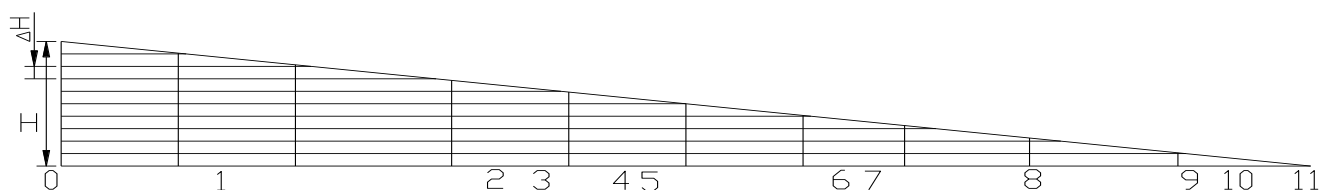


Рисунок 7а – Схема к определению положения линий равных напоров

2. Определяем точки примыкания линий тока к линиям дна верхнего и нижнего бьефов. Для этого измеряем ширину каждого пояса (вблизи контура сооружения) и находим среднее значение. Откладывая эту величину влево от понура по линии дна верхнего бьефа и вправо от конца водонепроницаемой части флутбета по линии дна нижнего бьефа находим точки примыкания первой линии токов, которую проводим, соблюдая требования к построению

гидродинамической сетки. Откладывая эту же величину от первой линии, проводим вторую линию и т.д.

Для вычисления элементов фильтрационного потока используем следующие зависимости:

1. Напор любой линии равного напора:

$$H_x = H - n \cdot \frac{H}{\Pi}, \quad (7)$$

где n – порядковый номер линии равных напоров от дна верхнего бьефа.

2. Уклон грунтового потока в пределах одной клетки:

$$i = \frac{\Delta H}{\Delta L} = \frac{H}{\Pi \cdot \Delta L}, \quad (8)$$

где ΔL – расстояние между линиями равного напора в пределах одной клетки, м.

3. Скорость движения определяется по формуле Дарси:

$$V_\phi = K \cdot i = K \cdot \frac{H}{\Pi \cdot \Delta L}, \quad (9)$$

где K – коэффициент фильтрации грунта основания, м/сут.

4. Расход воды, проходящий через одну ленту расхода:

$$q = \Delta S_{\text{ср.}} \cdot V_\phi, \quad (10)$$

где $\Delta S_{\text{ср.}}$ – средняя ширина ленты расхода, м.

5. Полный расход потока под сооружением на единицу ширины будет:

$$\Delta Q = \Delta q \cdot L, \quad (11)$$

6. Полный расход под сооружением шириной В составит:

$$Q = \Delta q \cdot L \cdot B, \quad (12)$$

где L – количество лент расхода;

B – ширина сооружения, м.

Расчёты выполняются в табличной форме.

Изменение скорости на участке выхода фильтрационного потока можно показать графически в виде кривой. Для её построения из середины каждой ленты расхода откладываем отрезки, равные скоростям, и вершины их соединяем кривой.

Аналогично можно получить и кривую изменения суммарного фильтрационного расхода. Для этого в конце каждой ленты расхода нужно отложить отрезки суммарных расходов (в начале q_1 , затем $q_1 + q_2$ и т.д.) и вершины их соединяем кривой (рисунок 7).

4 РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ФЛЮТБЕТА НА СДВИГ (пример)

При расчете флютбета на устойчивость учитывают силы, которые действуют на гидротехнические сооружения, связанные с условиями их работы: силу гидростатического давления воды верхнего бьефа; силу гидростатического давления воды нижнего бьефа; вес воды со стороны верхнего бьефа; вес воды со стороны нижнего бьефа; собственный вес водобоя. В результате движения фильтрационного потока и погружения флютбета под уровень воды в нижнем бьефе на флютбет дополнительно действуют силы фильтрационного и взвешивающего давлений (рисунок 8).

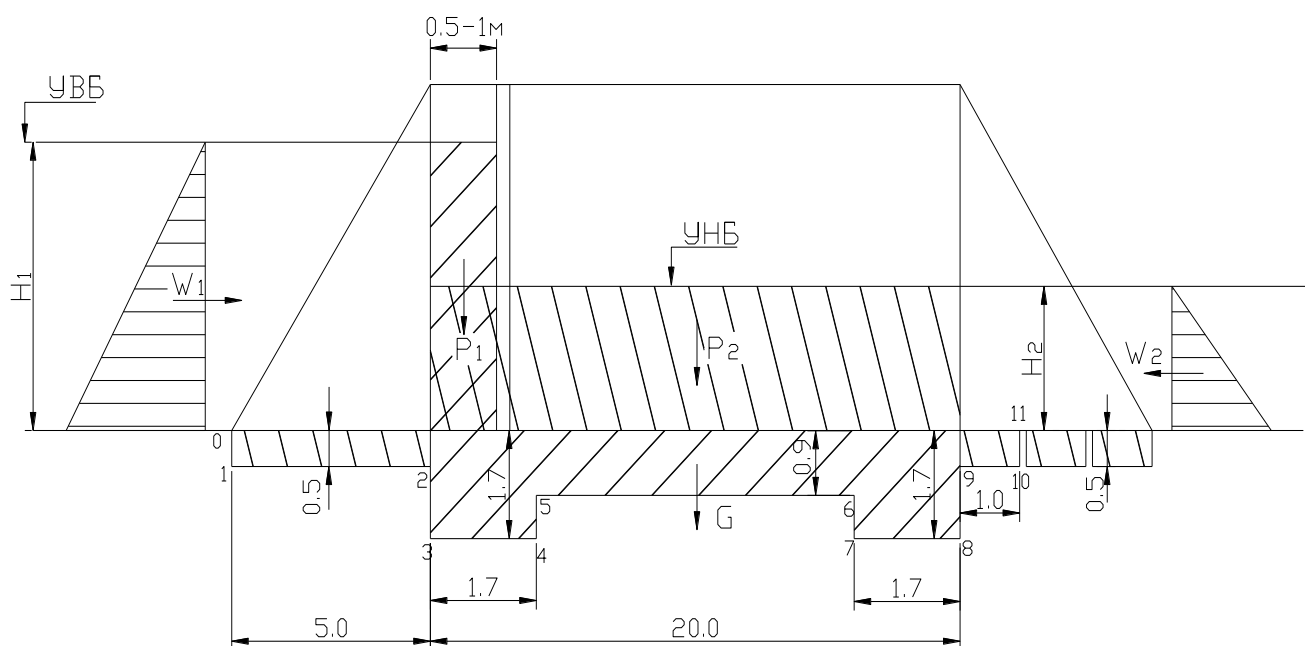


Рисунок 8 – Силы, действующие на флютбет

Графически фильтрационное и взвешивающее давление изображают в виде эпюр, построенных по линии развернутого подземного контура. Ординаты эпюр фильтрационного давления определяются расчетом, а ординаты эпюры взвешивающего давления – глубиной погружения рассматриваемой

точки под уровень воды нижнего бьефа. По эпюрам можно определить силу фильтрационного и взвешивающего давлений. Они равны произведению площади эпюры на рассматриваемом участке, умноженной на удельный вес воды.

Рассмотрим пример расчета коэффициента устойчивости на сдвиг главной части флютбета – водобоя.

Определяем нагрузки, действующие на водобой:

1. W_1 – сила гидростатического давления воды ВБ, т/м

$$W_1 = \frac{\gamma_6 \cdot H_1^2}{2} = \frac{1 \cdot 5^2}{2} = 12,5 \text{ т/м}; \quad (13)$$

2. W_2 – сила гидростатического давления воды НБ, т/м

$$W_2 = \frac{\gamma_6 \cdot H_2^2}{2} = \frac{1 \cdot 2^2}{2} = 2 \text{ т/м}; \quad (14)$$

3. P_1 – вес воды со стороны ВБ, т/м

$$P_1 = \gamma_в \cdot \omega_{P1} = 1 \cdot 5 \cdot 1 = 5 \text{ т/м} \quad (15)$$

4. P_2 – вес воды со стороны НБ, т/м

$$P_2 = \gamma_в \cdot \omega_{P2} = 1 \cdot 2 \cdot 19 = 38 \text{ т/м} \quad (16)$$

5. G – собственный вес водобоя, т/м

$$G = \gamma_6 \cdot F = 2,4 \cdot (0,90 \cdot 20 + 1,70 \cdot 0,80 \cdot 2) = 49,7 \text{ т/м} \quad (17)$$

где γ_6 – объёмный вес бетона, т/м³;

F - площадь водобоя, м².

6. W_{ϕ} – сила фильтрационного давления, действующая на водобой, т/м.

Для её определения в масштабе строим эпюру фильтрационного давления на развёрнутом контуре флютбета. По эпюре определяем давление в точках 3 и 8 (h_3, h_8) и расстояние между этими точками L_{3-8} (рисунок 9).

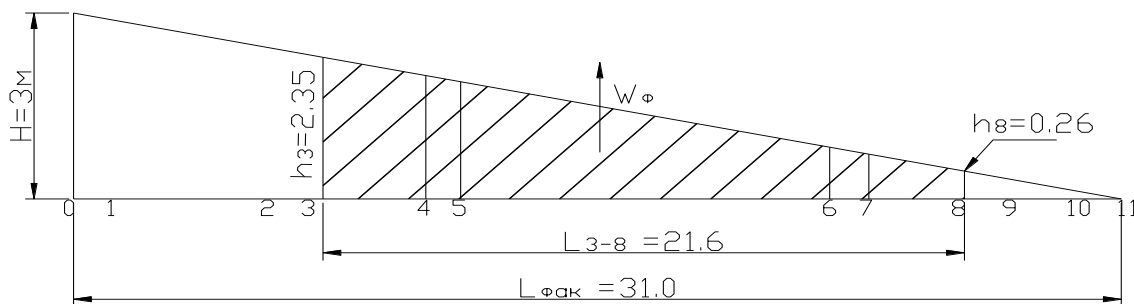


Рисунок 9 – Эпюра фильтрационного давления на развёрнутом контуре флютбета

$$W_{\phi} = \frac{h_3 + h_8}{2} \cdot L_{3-8} \cdot \gamma_e = \frac{2,35 + 0,26}{2} \cdot 21,6 = 28,2 \text{ т/м} \quad (18)$$

7. Для определения взвешивающего давления $W_{взв}$ строим эпюру взвешивающего давления на горизонтальную проекцию водобоя.

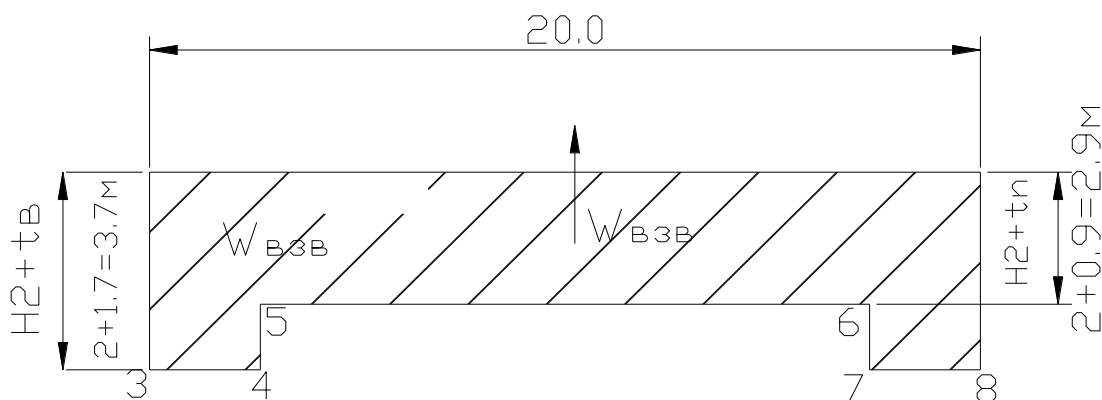


Рисунок 10 – Эпюра взвешивающего давления на горизонтальную проекцию водобоя

$$W_{\text{взв.}} = \omega_{\text{взв.}} \cdot \gamma_{\text{в}} = (20 \cdot 2,90 + 0,80 \cdot 1,71 \cdot 2) \cdot 1 = 60,7 \text{ т/м} \quad (19)$$

После определения всех сил, действующих на водобой, определяем коэффициент устойчивости на сдвиг по формуле:

$$K_{\text{сдв.}} = \frac{\sum P \cdot f + C \cdot F}{\sum W}, \quad (20)$$

где $\sum P$ – сумма вертикальных сил, действующих на водобой, т/м;

f – коэффициент трения бетона по грунту;

C – коэффициент сцепления грунта;

F – площадь подошвы сооружения (водобоя), м²;

$\sum W$ – сумма сдвигающих (горизонтальных) сил, т/м.

Таблица 3 – Значения коэффициента трения и удельного коэффициента сцепления

Грунт	Коэффициент трения, f	Удел. коэффициент сцепления, C , т/м ²
Глинистые	0,2-0,3	9-10
Суглинистые	0,25-0,35	2-5
Супесчаные	0,35-0,40	1-2
Песчаные	0,40-0,50	0-0,5
Галечниково-гравелистые	0,50-0,60	--
Гранит и др. практически не трещиноватые породы	0,75	-
Скальные, слаботрещиноватые породы, но с площадью цементации на глубину не менее 1/10 $H_{\text{пл}}$.	0,70	-
Скальные трещиноватые породы без площадей цементации	0,65	-
Известняки и песчаники	0,50-0,65	-

$$\sum P = (P_1 + P_2 + G) - (W_{\text{ф}} + W_{\text{взв.}}), \quad (21)$$

$$\Sigma P = (5 + 38 + 49,7) - (28,2 + 60,7) = 3,8 \text{ т/м}$$

$$\Sigma W = W_2 - W_1 = 12,5 - 2 = 10,5 \text{ т/м} \quad (22)$$

$$K_{\text{сдв.}} = \frac{3,8 \cdot 0,50 + 0,50 \cdot 20,72}{10,5} = 1,17$$

Вычисленный коэффициент сравниваем с допустимым, который зависит от класса капитальности сооружения, при этом должно выполняться условие

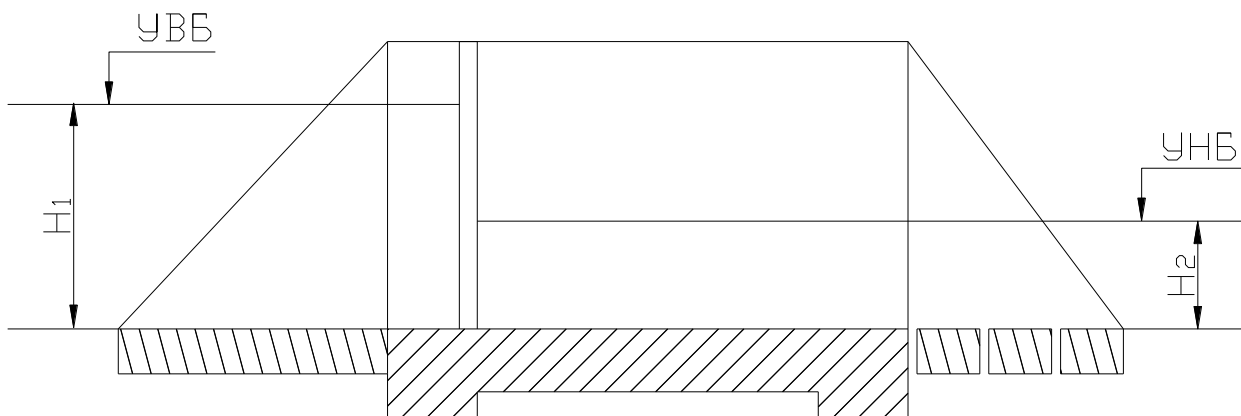
$$K_{\text{сдв.}} \geq K_{\text{доп.}} \quad (23)$$

Допустимый коэффициент на сдвиг для сооружений IV класса капитальности равен 1,05 – 1,1.

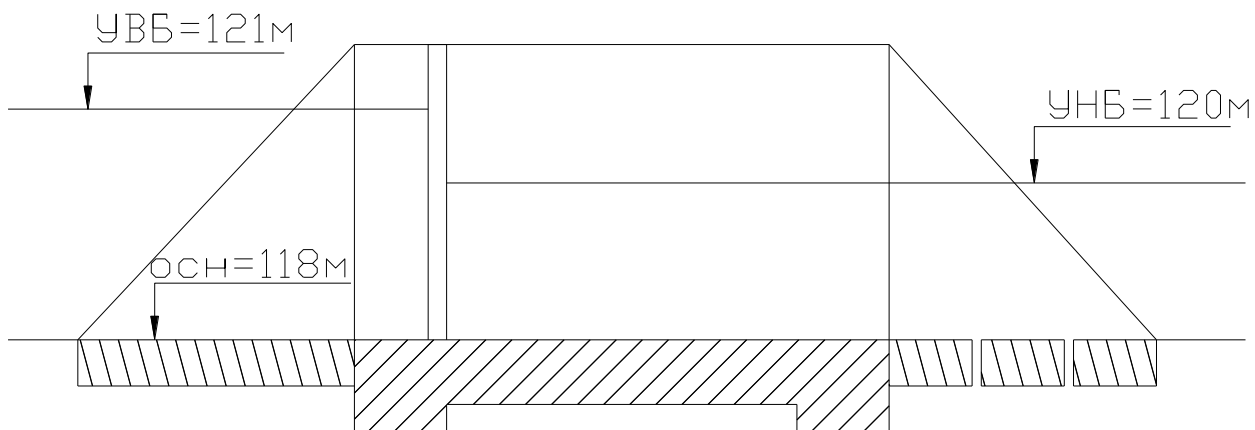
Условие (23) выполняется, следовательно, запроектированный водобой и другие элементы флютбета будут устойчивы на сдвиг.

ПРИЛОЖЕНИЯ

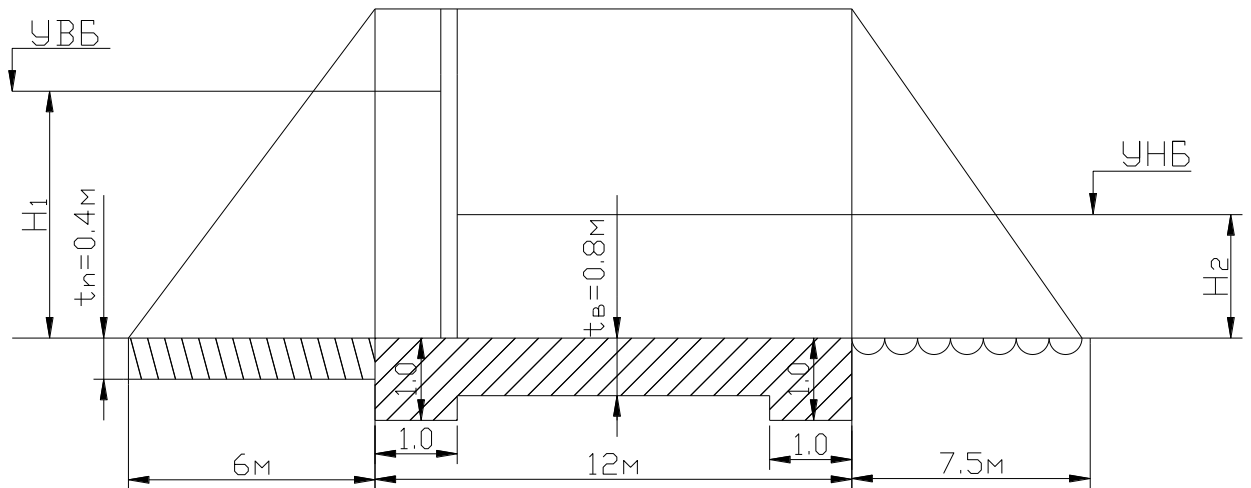
Задача 1. Определить теоретическую длину подземного контура флютбета регулирующего сооружения, если известно, что он построен на гравелистом грунте. На схеме показать все характерные точки расчетного контура.
 $C = 3,5$; $H_1 = 7,5$ м; $H_2 = 4,0$ м.



Задача 2. Определить теоретическую длину подземного контура флютбета регулирующего сооружения, если известно, что он построен на плотных глинах. На схеме показать начальную и конечную точки расчетного контура.
 $C = 7,5$.

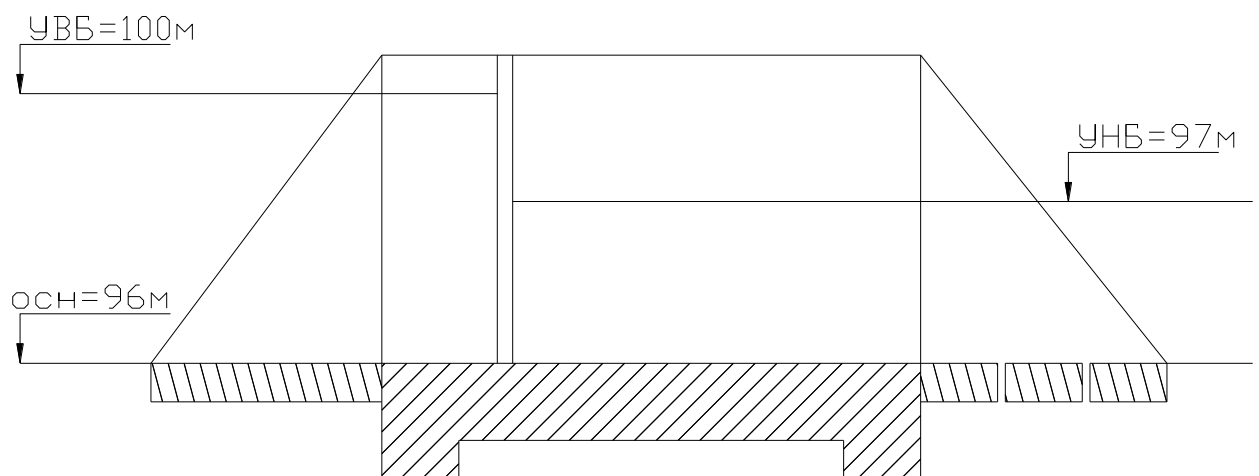


Задача 3. Определить фактическую длину развернутого контура флютбета и проверить достаточность принятой длины подземного контура, если известно, что $C = 6,0$; $H_1 = 4,5$ м; $H_2 = 1,5$ м.



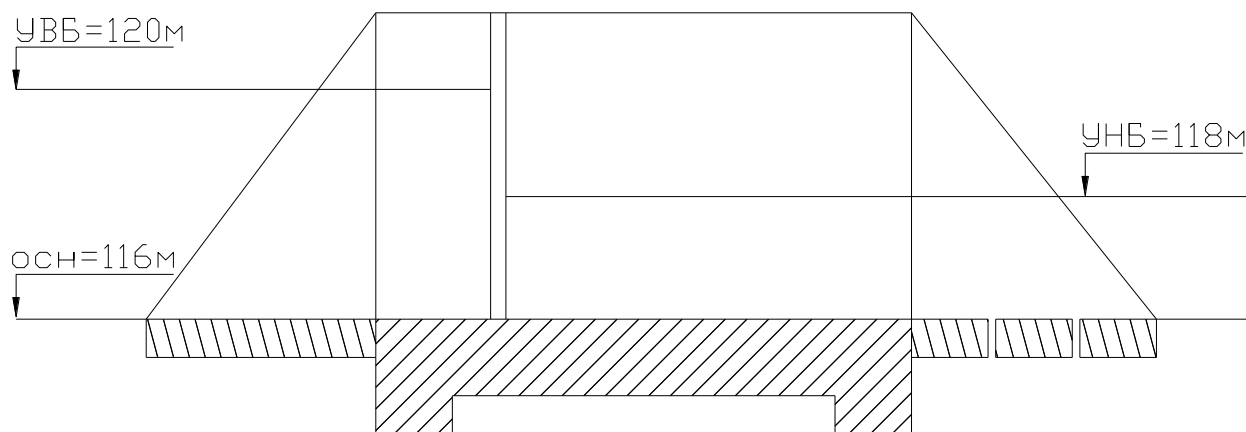
Задача 4. Определить толщину водобоя в центральной части, если фактическая длина развернутого контура равна 15 м. Основание – песок. Проверить достаточность принятой длины подземного контура, если $C = 5$.

М 1:100



Задача 5. Определить толщину водобоя, если фактическая длина развернутого контура равна 15 м. Основание – песок.

М 1:100



Задача 6. Вычертить флютбет по следующим данным: $L_{\text{п}} = 8$ м; $L_{\text{в}} = 16$ м; $L_{\text{р}} = 5$ м; $t_{\text{п}} = 0,4$ м; $t_{\text{р}} = 0,6$ м; толщина водобоя в центральной части 1 м, глубина зуба в начале водобоя 0,9 м, в конце – 0,6 м. Проверить достаточность принятой длины подземного контура, если известно, что грунт основания – суглинок $C = 3,5$, $H_1 = 4$ м; $H_2 = 1$ м.

Задача 7. Вычертить флютбет по следующим данным: $L_{\text{п}} = 5$ м; $L_{\text{в}} = 10$ м; $L_{\text{р}} = 5$ м; $t_{\text{п}} = 0,5$ м; $t_{\text{р}} = 0,5$ м; толщина водобойной плиты 1 м. Рисберма состоит из двух частей: жесткой и гибкой длиной 3 м и 2 м соответственно. Все размеры показать на схеме. Определить допустимую длину флютбета, если известно, что грунт основания – плотные глины $C = 8,0$, $H_1 = 2,5$ м; $H_2 = 1$ м.

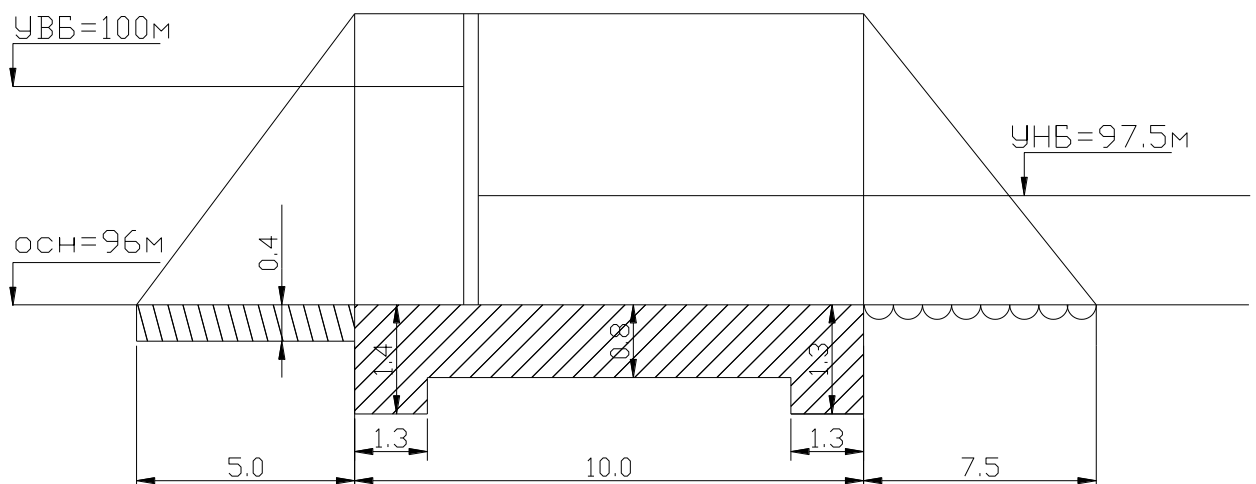
Задача 8. Вычертить флютбет по следующим данным: $L_{\text{п}} = 5$ м; $L_{\text{в}} = 16$ м; $L_{\text{р}} = 7$ м; $t_{\text{п}} = 0,5$ м; $t_{\text{р}} = 0,4$ м; толщина водобоя в центральной части 1 м, глубина зуба в начале водобоя 1,0 м. На схеме показать: длину понура, длину водобоя, длину рисбермы, длину флютбета.

Задача 9. Вычертить флютбет по следующим данным: $L_{\Pi} = 6$ м; $L_{В} = 18$ м; $L_{р} = 12$ м; $t_{\Pi} = 0,5$ м; $t_{р} = 0,8$ м; толщина водобоя в центральной части 1 м, глубина зуба в начале водобоя 0,8 м, в конце – 0,6 м. Вычислить и показать на схеме напор на сооружении, если известно $\Delta УВБ = 100$ м; $\Delta УНБ = 97$ м; $\Delta_{осн.} = 94$ м.

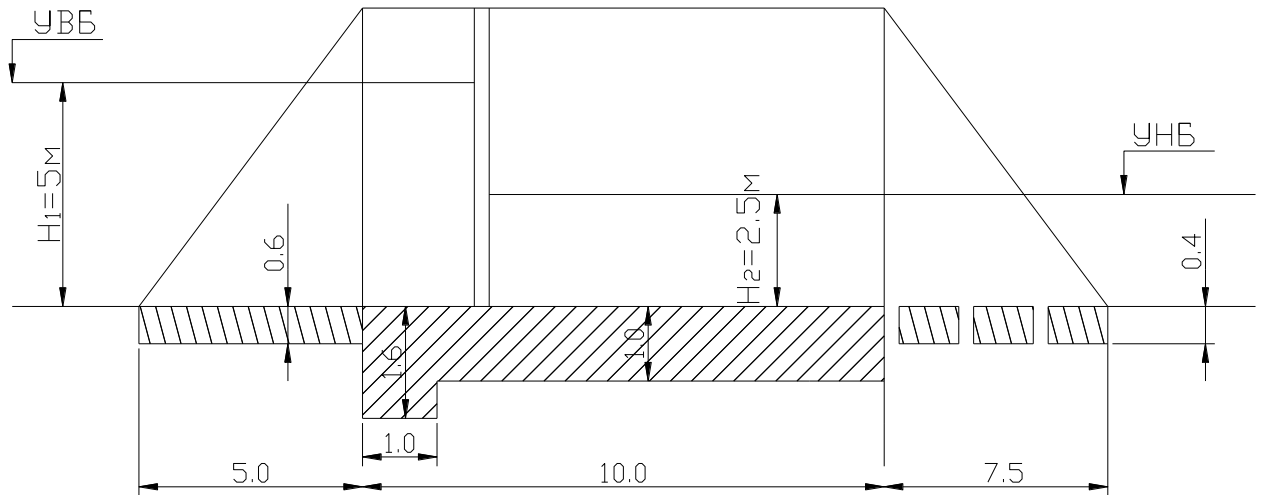
Задача 10. Вычертить флютбет по следующим данным: $L_{\Pi} = 5$ м; $L_{В} = 10$ м; $L_{р} = 5$ м; t_{Π} в начале = 0,4 м; t_{Π} в конце = 0,8 м; $t_{р} = 0,5$ м; толщина водобойной плиты 1,2 м. Дренажное отверстие расположено в начале рисбермы. Определить фактическую длину развернутого контура флютбета.

Задача 11. Вычертить флютбет по следующим данным: $L_{\Pi} = 8$ м; $L_{В} = 16$ м; $L_{р} = 5$ м; t_{Π} в начале = 0,4 м; t_{Π} в конце = 0,6 м; толщина водобоя в центральной части 1 м, глубина зуба в начале водобоя 1,0 м. Построить эпюру напоров по развернутому контуру флютбета, если известно, что рисберма выполнена в виде каменной наброски. $\Delta УВБ = 90$ м; $\Delta УНБ = 87$ м; $\Delta_{осн.} = 86$ м.

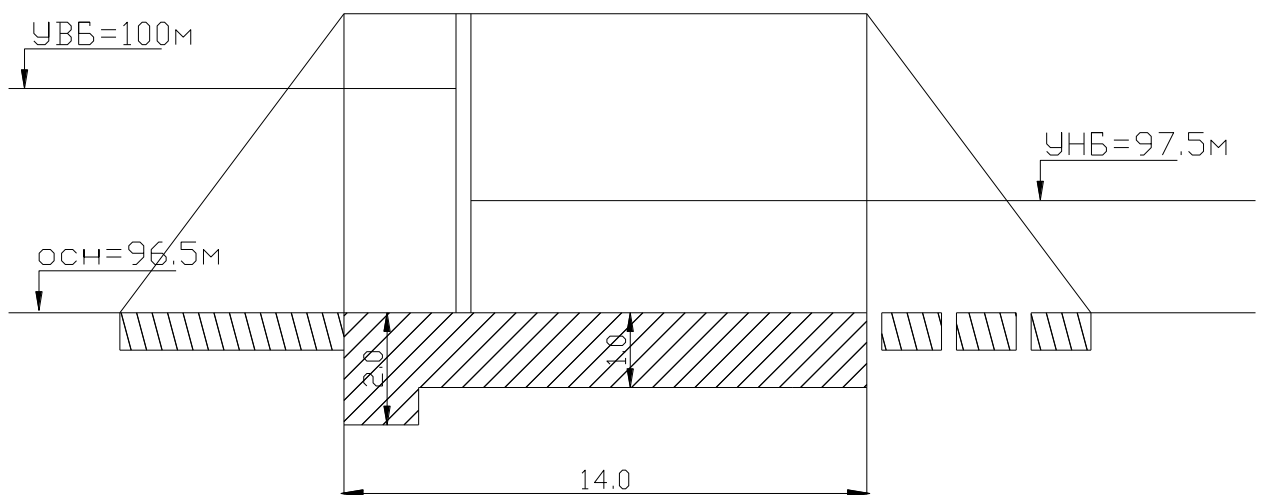
Задача 12. Построить в масштабе эпюру напоров по развернутому контуру флютбета. Определить по ней напор фильтрационного потока в точках 2, 3, 5, 6. На схеме показать напор на сооружении.



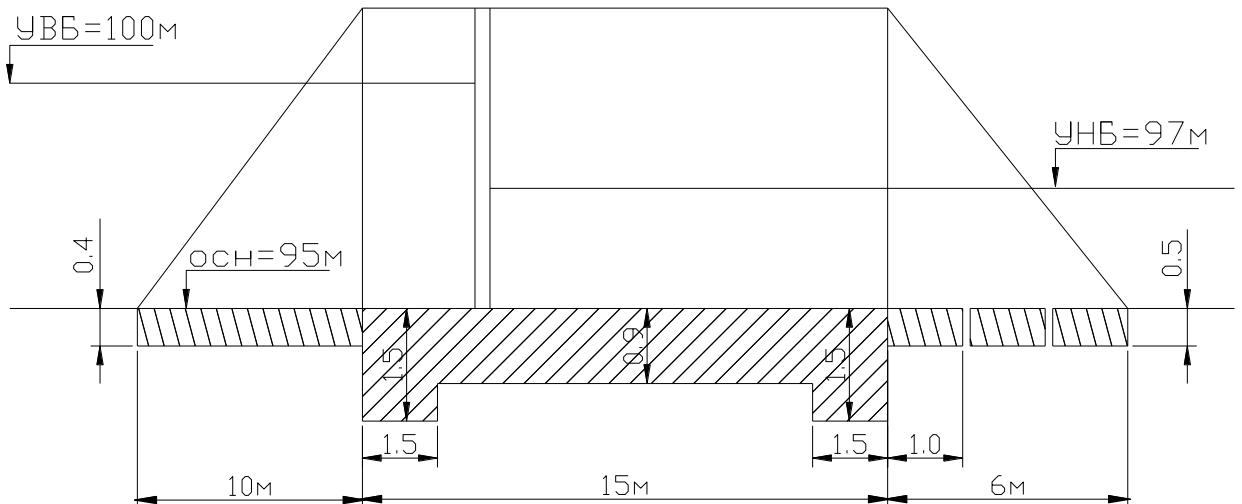
Задача 13. Построить в масштабе эпюру напоров по развернутому контуру флютбета. Определить по ней расстояние до точек 3, 6, 7 и напор фильтрационного потока в них.



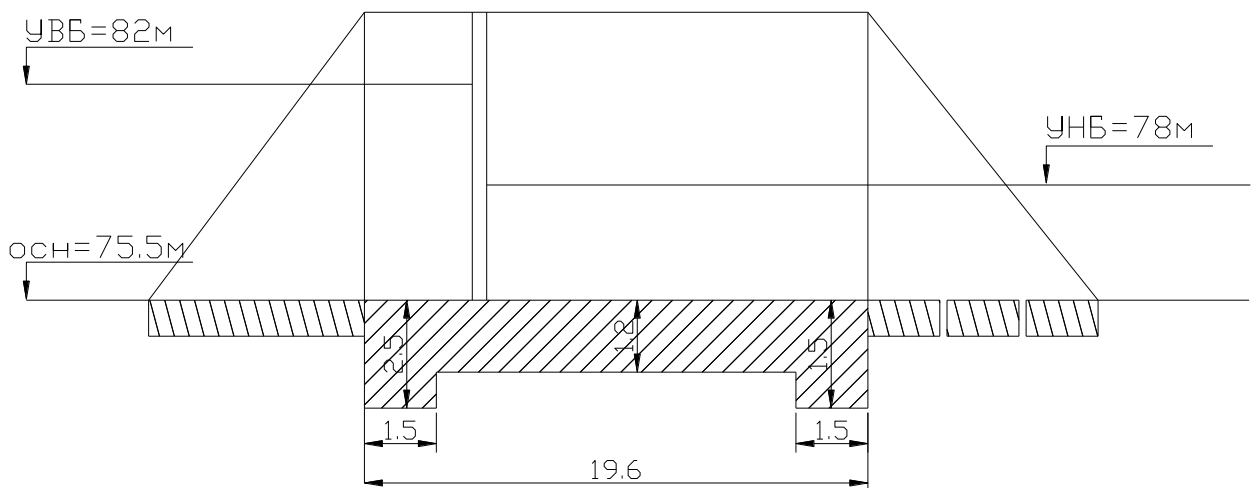
Задача 14. Определить взвешивающее давление, действующее на водобой, гидростатическое давление воды верхнего бьефа. На схеме показать начальную и конечную точки расчетного контура.



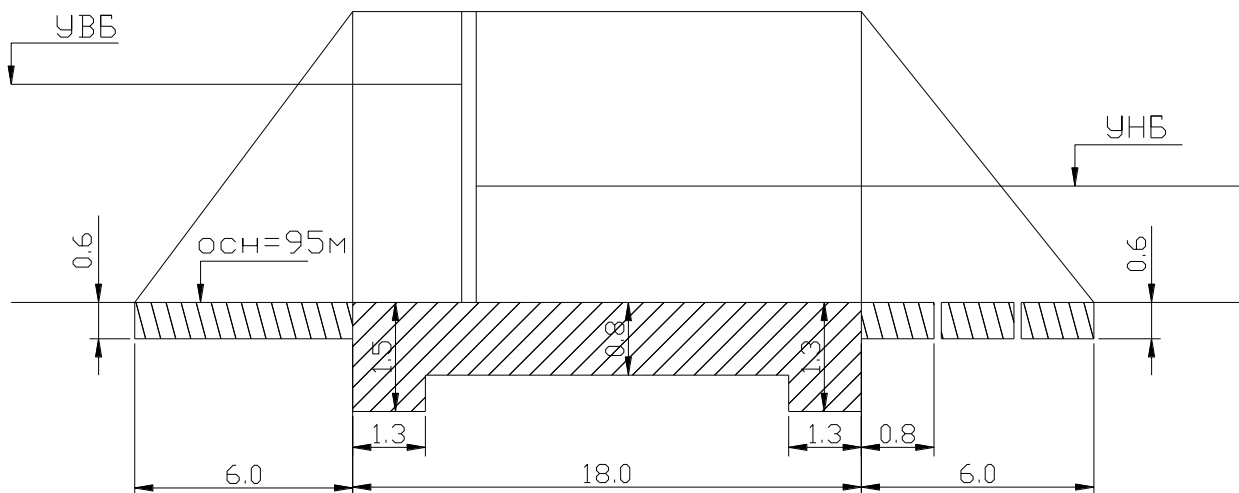
Задача 15. Определить фильтрационное давление, действующее на водобой, коэффициент сдвига, если известно, что сумма вертикальных сил равна 10 т/м, сумма горизонтальных сил равна 20 т/м, $f = 0,35$, $C = 1 \text{ т/м}^2$, $G = 40 \text{ т/м}$.



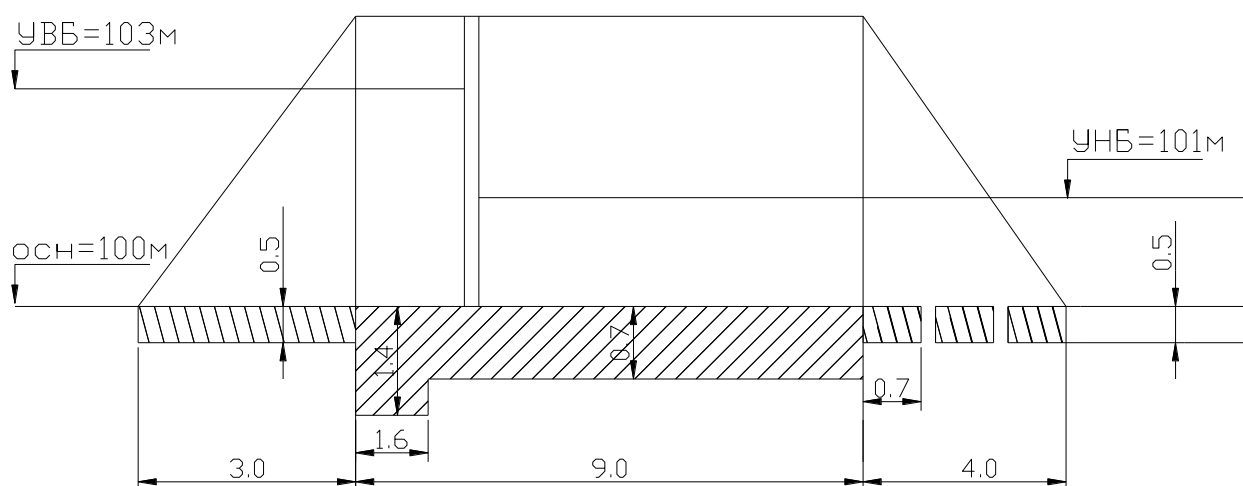
Задача 16. Определить гидростатическое давление воды верхнего и нижнего бьефов и собственный вес водобоя. На схеме показать напор на сооружении, все характерные точки расчетного контура.



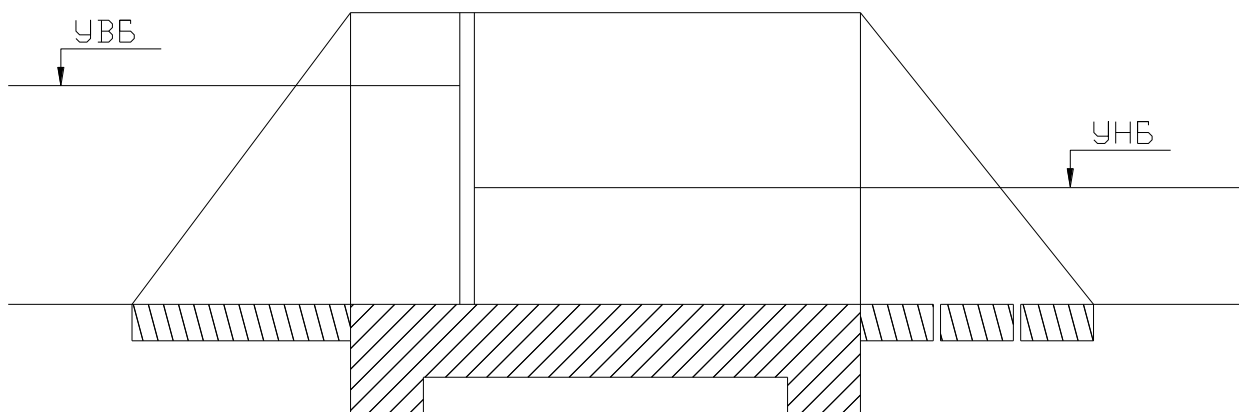
Задача 17. На схеме показать все силы, действующие на флютбет. Определить фактическую длину развернутого контура.



Задача 18. Определить фильтрационное и взвешивающее давление, действующие на водобой.



Задача 19. Показать на схеме силы, действующие на флютбет. Определить сумму вертикальных и горизонтальных сил, если известно, что $P_1 = 5$ т/м, $P_2 = 32$ т/м, $G = 40$ т/м, $W_{взв.} = 48$ т/м, $W_{\phi} = 19$ т/м, $W_1 = 14$ т/м, $W_2 = 4$ т/м.



Список использованных источников

1. Волков И.М., Кононенко П.Ф. и Федичкин И.К. Гидротехнические сооружения - М.: Колос, 1968. – 464 с.
2. Нестеров М.В. Гидротехнические сооружения: учебн. пособие / М.Н. Нестеров. – Мн.: Новое знание, 2006. – 616 с.
3. Проектирование гидротехнических сооружений / Волков И.М., Кононенко П.Ф., Федичкин И.К. и др.: Учебник и учебное пособие для высш. с.-х. учеб. заведений – М.: Колос, 1977. – 384 с.