

Резюме. Создание установки, реализующей предлагаемый тип вязки плоских сплоченных единиц методом бесконечной спирали, даст возможность во многих случаях на первоначальных реках заменить молевой лесосплав плотовым.

Л и т е р а т у р а

1. Будыка С.Х., Лебедь С.С., Козлов В.Н. и др. Устройство для обвязки пакета лесоматериалов. – Авт.свид. № 408839. – Бюл. изобр. № 48, 1973. 2. Козлов В.Н. Береговая сплоченная установка. Мат-лы к IУ научн.-техн.конф. Л., 1976.

УДК 634.0.378:627.4.001.24

М.Г. Красник, канд.техн.наук,
Р.И. Герман, Е.С. Санкович

МЕТОДИКА ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ГИБКИХ УСТОЕВ ПЛОТИН ЗАПАННОГО ТИПА

Гидротехнический расчет устоя плотин запанного типа должен дать возможность выбрать длину устоя вдоль потока (рис.1), а также оценить фильтрационную устойчивость грунта берега реки в нижнем бьефе. При гидротехническом расчете устоев напорных сооружений постоянного типа критерием фильтрационной устойчивости служит средний градиент грунтового безнапорного потока, обтекающего устой. Как и при расчете флютбета [1], здесь могут быть применены три метода.

По первому методу расчет предусматривает построение на приборе ЭГДА гидроизогипс, который наиболее надежно решает вопрос устойчивости грунта в нижнем бьефе за устоем против выпора и суффозии. По этому методу можно также получить величину фильтрационного расхода, давление на устой и др.

По второму методу расчета устанавливается показатель фильтрационной прочности всего грунтового массива за устоем в целом. Таким показателем может служить средний уклон грунтового потока непосредственно за устоем. Общая устойчивость обеспечивается, когда он составляет 75% от уклона напорного потока под флютбетом. В плотинах запанного типа это условие всегда соблюдается, так как длина устоя вдоль потока равна длине флютбета.

По третьему методу, предложенному Р.Р.Чугаевым, засыпка за устоем и примыкающие к устью откосы верхнего и нижнего

бьефов рассматривается как земляная плотина. Оценка фильтрационной прочности грунта и давление на стенку устоя определяется по кривой депрессии, опоясывающей устоя.

При гидротехническом расчете устоя плотин запанного типа определение давления на стенку устоя не требуется, так как он является наслонным и подвержен давлению воды верхнего бьефа, прижимающего его к грунту. Таким образом, задача сводится к определению только фильтрационной прочности грунта на низовом откосе за устоем.

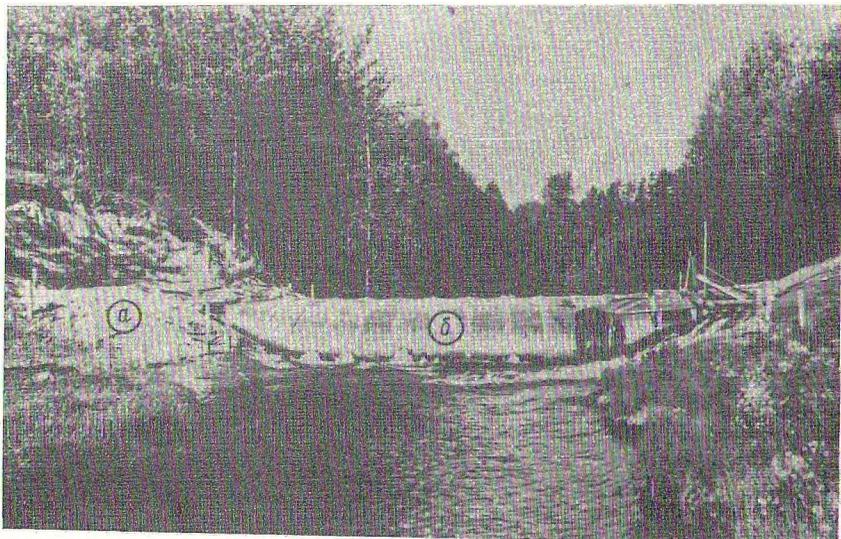


Рис. 1. Плотина запанного типа с гибкими элементами: а - гибкий устоя; б - гибкий водоподъемный экран.

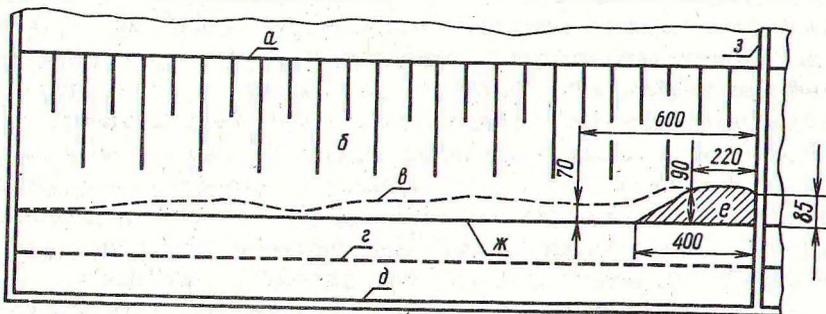


Рис. 2. Вид разрушения откоса в трапециевидном русле: а - бровка откоса; б - нижний бьеф; в - линия высачивания; г - линия сопряжения откоса с дном; д - стенка лотка; е - область разрушения; ж - урез воды; з - экран.

Для решения поставленной задачи необходимо выбрать расчетную схему, используя имеющиеся решения.

С целью выбора расчетной схемы были проведены лабораторные опыты в фильтрационных лотках. При монтаже гибких устоев между ними и грунтом основания не предусматривается каких-либо уплотнительных элементов. Плотное их прилегание к грунту должно происходить за счет разности давлений между поверхностным и грунтовым потоками. Поэтому опыты по изучению фильтрации вокруг устоев проводились в русле трапецидального сечения как наиболее невыгодного с точки зрения прилегания устоя к грунту откоса. В трапецидальном русле было проведено 15 опытов. Два из них проводились без защитных устройств. В остальных опытах в качестве защитных устройств применялись одиночные и двойные трубчатые фильтры с заглублением их в грунт откоса и без заглубления, а также открылки. Все опыты были доведены до разрушения откоса. Вид разрушения откоса в одном из опытов показан на рис. 2.

Учитывая, что в трапецидальном русле имеется резкий перелом по линии сопряжения откоса с дном, где может происходить сосредоточенная контурная фильтрация, несколько опытов было проведено в параболическом русле. Первые признаки разрушения откоса в параболическом русле были замечены при этом же напоре, что и в трапецидальном русле. Однако русло параболической формы при повышении напора оказалось менее устойчивым. В этих опытах было обнаружено, что разрушение откоса происходит вследствие неплотного прилегания устоя к грунту ввиду сложной формы русла. В верхней его части выше уреза воды устой укладывается почти вертикально и силы тяжести исключают его плотное прилегание к грунту. Форма русла в месте установки плотин запанного типа с гибкими устоями играет существенную роль на фильтрацию. Наиболее целесообразной формой следует считать русла с пологими берегами, т.е. трапецию с большим заложением откоса.

Были поставлены опыты по выявлению наиболее целесообразных методов искусственного прижатия устоя к грунту откосов. Для этого на модель устоя в верхнем бьефе укладывались железобетонные плитки. Отсутствие плотного прилегания устоя к грунту из-за недостаточного прижатия его плитками и надлежащего гидростатического давления сверху вызвало разрушение низового откоса и в этом случае.

Для уточнения характеристик фильтрационного потока за устоем, полученных в лабораторных условиях, в полевой лаборатории ЦНИИЛесосплава на реке Тайвокола (Ленинградская

область) были поставлены натурные опыты. Наблюдения за движением фильтрационного потока в обход устоя проводились с помощью скважин. В результате проведенных исследований построены кривые депрессии [2] и установлена зона высачивания фильтрационного потока на откос. Это дало возможность получить выходные градиенты, которые можно сравнивать с выходными градиентами по той или иной расчетной схеме. В качестве расчетной схемы примем решение, предложенное Р.Р. Чугаевым [3] и сравним полученные данные из опытов с расчетной схемой. Толщина водопроницаемого слоя принимается в зависимости от соотношения длины устоя к толщине водопроницаемого слоя под устоем. Если $T \leq 0,5l_{\text{устоя}}$, то принимается, что водоупор совпадает с действительным его местонахождением. Если же $T > 0,5l_{\text{устоя}}$, то глубина расположения водоупора принимается равной $0,5l_{\text{устоя}}$. Кроме того, в зависимости от типа сопрягающих стенок грунтовый массив по опоясывающей кривой депрессии, имеющий верховой и низовой откосы, заменяется вертикальным грунтовым массивом, доходящим до водоупора. Массив, построенный для безнапорной струйки, опоясывающей наклонный устой, приведен на рис. 3. Фильтрационная прочность грунта на выходе кривой депрессии по расчету должна обеспечиваться. Однако рассмотренная схема не согласуется с полученными данными опыта. В действительности происходило разрушение фильтрационным потоком грунта низового откоса. Если рассматривать струйку, прилегающую непосредственно к устью со стороны насыпи, как опоясывающую, то можно принять в качестве расчетной схемы прямоугольный массив длиной равной $l_{\text{устоя}}$. Основанием для такого предположения может служить то, что в месте выхода струйки на откос за устоем градиенты напорного и безнапорного потоков должны быть одинаковыми. Чтобы установить связь между выходным градиентом и средним опоясывающей кривой депрессии, воспользуемся имеющимися решениями для перемычек с вертикальными откосами.

В качестве расчетной схемы примем перемычку с вертикальными откосами при отсутствии воды в нижнем бьефе как наиболее критический случай, который имеет место в начальный момент эксплуатации плотины при ее установке. Из данных [4] имеем значения градиентов: $\frac{I}{I_{\text{ср}}} = 2; 1,85; 1,90; 1,72$, максимальное значение этого отношения равно 2. Можно предположить, что у непосредственного выхода потока на откос это

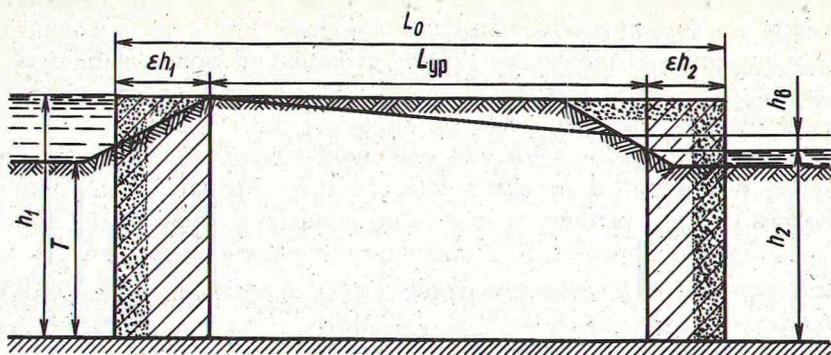


Рис. 3. Грунтовый массив за наклонным устоем с опоясывающей кривой депрессии.

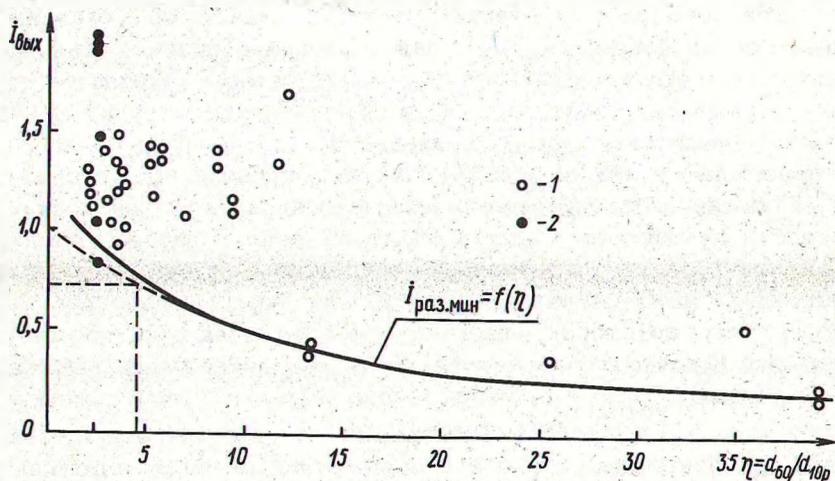


Рис. 4. Зависимость минимальных разрушающих градиентов от коэффициента неоднородности грунта: 1 - по данным В.С. Истоминой; 2 - по опытам БТИ.

Таблица 1

| Грунт | Класс сооружения по капитальности | |
|-------------------------|-----------------------------------|--------|
| | Ш | IV - V |
| Глина | 0,90 | 1,08 |
| Суглинок | 0,45 | 0,54 |
| Песок крупный | 0,40 | 0,48 |
| Песок средней крупности | 0,28 | 0,34 |
| Мелкий песок | 0,22 | 0,26 |

отношение должно иметь большее значение. Согласно [4] $I = 2,4I_{\text{ср}}$, а [5] $I = 3I_{\text{ср}}$. Отсюда можно принять

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{3} \quad (1)$$

Соотношение (1) получено нами и для напорной фильтрации. Это подтверждает высказанное предположение, что в месте разрушения уклоны напорного и безнапорного потоков должны быть одинаковыми. Однако допустимые выходные градиенты при расчете по огибающей кривой депрессии должны быть приняты меньшими, так как при напорной фильтрации выходные скорости направлены вертикально вверх, а при безнапорной эта скорость касательна к кривой депрессии у выхода. Выпор и суффозия в этом случае облегчается, так как собственный вес зерен с гидродинамической силой составляет некоторый угол. В качестве расчетного примем полученное соотношение (1).

Допустимые выходные градиенты можно принять на основании исследований [3], а также используя данные СНИПа.

Отметим, что допустимые средние контролируемые уклоны для подземного контура плотин намного ниже, чем в СНИПе. Расчет обтекания устоя в гидротехнических сооружениях ведется так же, как и в земляной плотине. Фильтрация же вокруг устоя в плотинах запанного типа – по огибающей струйке на его контакте с грунтом и может быть отнесена в его нижней части к типу фильтрации по подземному контуру флютбета (табл. 1). Используя табл. 1 и расчетную зависимость (1), сравним, какие выходные градиенты допустимы для плотин IV – V классов

$$I_{\text{ВЫХ}} = 3I_{\text{ср}}$$

тогда для глины $I_{\text{ВЫХ}} = 3 \cdot 1,08 = 3,24$; суглинка – 1,62; крупного песка – 1,44; песка средней крупности – 1,02 и мелкого песка – 0,78. Для плотины, которая испытывалась на реке Тайвокола при $\gamma = 3,60$ [6] имеем $I_{\text{разр}} = 0,85$. Для выбора допустимых градиентов на выходе можно рекомендовать график, предложенный при расчете напорной фильтрации (рис. 4). Полученные по этому графику градиенты для расчета устоя должны снижаться из-за неплотного прилегания гибкой части устоя к грунту у его верхнего обреза, а также из-за другого (по сравнению с напорной фильтрацией) характера разрушения грунта на откосе. Учитывая это, предлагаем (1) заменить следующей формулой:

$$I_{\text{доп}} = \frac{I_{\text{разр}} \cdot \cos \alpha}{n \cdot k}, \quad (2)$$

где α – угол наклона откоса; k – коэффициент запаса.

Далее было установлено, что в плотинах запанного типа, а также в козловых плотинах из гибких материалов верхняя часть устоя может оказаться недостаточно прижата водой к грунту берега (из-за малого напора). Это приводит к сосредоточенной фильтрации между устоем и грунтом, которая может вызвать аварию плотины. Исключить полностью это явление можно только при наличии соответствующего напора воды над гибким устоем или его пригрузкой, которая должна осуществляться при тщательной планировке откоса. Более целесообразно в этом случае пригрузку осуществлять сыпучим материалом, а в плотинах запанного типа плотное прилегание может осуществляться также нижними подвесками.

Проведены также исследования по выявлению методов защиты низового откоса от разрушений фильтрационным потоком. Эти исследования показали, что в мелких песчаных грунтах, помимо рекомендуемого выбора длины флютбета и устоя по предложенной методике, необходимо у низового обреза флютбета установить сетчатый фильтр, который должен быть заглублен в грунт на глубину 20 – 30 см. Наиболее целесообразно прикреплять его к гибкому открылку, т.е. сочетать работу гибкого открылка и фильтра.

Резюме. Предлагаемая методика гидротехнического расчета устоев плотин запанного типа даст возможность определить их основные размеры, а также выбрать защитные устройства для низовых откосов в мелких песчаных грунтах.

Л и т е р а т у р а

1. Борисовец Ю.П. Методика расчета плотины запанного типа. – "Лесная промышленность", 1973, № 3. 2. Красник М.Г. и др. Натурные исследования фильтрации в плотинах запанного типа. – В сб.: Механизация лесоразработок и транспорт леса. Вып. 7. Минск, 1977. 3. Чугаев Р.Р. Подземный контур гидротехнических сооружений. Л., 1974. 4. Полубаринова – Кочина П.Я. Некоторые задачи плоского движения грунтовых вод. М., 1942. 5. Проскурников С.М. Новые расчетные данные по фильтрации через перемычки. – Труды ГТИ, вып. 5. Л., 1937. 6. Истомина В.С. Фильтрационная устойчивость грунтов. М., 1957.