

Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

У. С. С. Р.

НАРОДНЫЙ КОМИССАРИАТ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

•••• Инжен. Я. Т. НЕНЬКО ••••

4 627824
62611
H-51

ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН

С предисловием проф. Харьковского
Института Сельского хозяй-
ства и лесоводства
Ю. В. Ланге

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ НАРОДНОГО
КОМИССАРИАТА ЗЕМЛЕДЕЛИЯ
Х А Р Ь К О В
1923

И

ТИПО-ЛИТОГРАФИЯ «КНИГОСПІЛКИ»
ХАРЬКОВ, НЕТЕЧЕНСКАЯ НАБ., № 14.

2019

↓

Т. 3000.

О работе инж. Я. Т. Ненько
„Подходы к проектированию земляных плотин“

Работа инж. Ненько посвящена рассмотрению чистого типа земляных плотин, т. е. плотин, устраиваемых из однородного грунта и однородных по всему поперечному сечению, без ядра или водонепроницаемой стенки.

Надо сказать, что водоудержательные земляные плотины можно разделить на два типа:

Тип I. *Фильтрация ничтожна*. Плотина включает в себе непроницаемую для воды перегородку (ядро в виде глиняной набивки, вертикальной каменной стенки, чугунных листов и проч.), которая должна быть углублена в водонепроницаемую подстилающую породу. Для возведения плотины такого типа требуется наличие определенных местных условий: водонепроницаемой подстилающей породы, не глубоко заложеной и возможность открытия подходящих карьеров для получения материалов (глины и песка или камня), нужных для образования тонкого ядра.

Тип II. *Фильтрация—важный фактор*. Глины для образования ядра не имеется и под подошвой и крыльями плотины водонепроницаемый слой отсутствует или залегает слишком глубоко. Если другого места для водохранилища выбрать нельзя, то все-таки можно построить прочную плотину без ядра, а иногда даже и без замков. При условии предварительных исследований грунта выбираемого для сооружения, такое проектирование вполне возможно. Надо лишь, чтоб эта фильтрация была 1) *не опасна* и 2) *допустима*



по строительным и гидрологическим условиям. Первые такие плотины значительной высоты возведены были на Цейлоне.

Между этими крайними типами могут быть различные комбинации, обуславливаемые местными условиями. Практика показала, что правильно построенные плотины и того и другого типа могут считаться вполне безопасными и надежными сооружениями. Естественно, в случае, когда, под водохранилищем имеется водонепроницаемый пласт и по близости имеются подходящие материалы для ядра, следует строить плотину I-го типа. Могут быть исключения при избытке притока или при временных сооружениях (напр., места взрывных работ на гранитном дне Днепра, около г. Екатеринослава, окружались песчаными перемычками).

В случае, если водоупорного пласта и глины для ядра нет, то надо идти по второму пути (для временного предохранения г. Кременчуга от наводнения в 1916 г. я построил на аллювиальной террасе Днепра, состоящей из песчаных отложений, песчаные дамбы вокруг города и с противоположной стороны вокруг посада Крюкова и благополучно пропустил половодье, несмотря на сравнительно высокие воды. С наружной стороны дамбы были охранены досчатой одеждой).

Материал для возведения плотин надо выбирать осмотрительно и правила возведения их, из которых главные: придать плотине при постройке вид, который она сохранит и в будущем, не употреблять растительных грунтов и проч., должны быть соблюдены.

При выборе типа плотины надо считаться с гидрологическими условиями. При недостаточном стоке, напр., надо стремиться к 1-му типу, при избытке ко 2-му. Часто гидротехник может удачно решить задачу, выбрав промежуточный тип, и, наконец, могут быть случаи, когда надо совершенно отказаться от постройки плотины в данном месте.



Возвращаясь к статье инж. Ненько, надо сказать, что им правильно очерчен ход расчета плотин и выдвинут вопрос о применении плотин 2-го типа. Показав, что статический расчет дает всегда достаточно благоприятные результаты, автор переходит к разбору расчета на фильтрацию через тело плотины и фильтрацию по линии сопряжения тела плотины с основанием. Инж. Ненько ясно очерчивает ход расчета плотины (точнее, очертания по гребню и сухому откосу и по сопряжению с основанием), а затем красиво и кратко формулирует построение поперечного профиля плотины „очертанием ломаной линии, огибающей продольный профиль фильтрующей через тело плотины воды, путем применения выбранных и оправданных теоретическими или практическими исследованиями углов, откосов, граней и нужного превышения огибающей над соответствующими ординатами поверхности депрессии с „учетом явлений капиллярности и промерзания“. На сопряжение с основанием инж. Ненько приводит расчет по Bligh'ю. Если при проектировании есть возможность заранее точно выяснить продольный профиль воды, фильтрующей через тело плотины, и знать, что фильтрующаяся вода не будет выносить частиц грунта и тело ее и внешний вид всегда будут неизменны, то можно строить плотину без непроницаемого ядра и не беспокоиться за прочность сооружения при условии соблюдения при постройке правил гидротехники: поэтому нельзя спорить против допустимости плотин 2-го типа, но совершенно невозможно согласиться с инж. Я. Т. Ненько, рекомендующим этот тип, как исключительно рациональный.

Большая заслуга автора в том, что он ясно формулировал ход расчета плотин этого типа и выдвинул доказательства, его обосновывающие, ибо этого никем в русской литературе не сделано. Самое деление плотин на типы по фильтрации я взял из английского источника (Parker. The control of water. as applied to irrigation, power and town water



as applied to irrigation, power and town Jupply purposes. London 1913), но, как видно из вышеизложенного, эти плотины применялись и у нас и этот тип надо поставить на свое место, не выдвигая его вперед.

В работе есть другие увлечения, с которыми нельзя согласиться. напр., нельзя полагаться на то, что время доделает то, что не сделано при постройке, в условиях нашего юга на заплывание плотин в прудах совершенно не следует рассчитывать, ибо ил откладывается во время половодья, а затем вода осветляется, растительные грунты не должны быть допускаемы в постройку, укатка по нашей русской практике колесами грабарок вполне надежна, при условии умелого руководства работами и от нее нельзя отказаться. „Масса плотины должна быть уплотнена до того, чтобы ее было трудно пробить ломом“ (Зброжек). В статье есть некоторые длинноты, которые можно было бы сократить, и, наоборот, места, которые следовало бы развить, напр., на стр. 20-й, но и в том виде, как теперь, статья заслуживает серьезного внимания, т. к. заставляет читателя остановиться на важных вопросах в разбираемой теме. Прямолинейность, с которой автор пропагандирует плотины из однородного грунта, дает статье определенный колорит. Так как этот вопрос совершенно не освещен в русской литературе, то надо надеяться, что эта работа даст толчек к более сознательному выбору проектируемых плотин и к всестороннему освещению этого вопроса в нашей небогатой литературе.

Издательская часть Наркомзема оказала поэтому делу гидротехники большую услугу изданием работы инж. Я. Т. Ненько, а для Украины эта услуга представляется особенно ценной.

Проф. Ю. Лажге.



ПРЕДИСЛОВИЕ

Вопрос о развитии строительства в области снабжения населения и его живого инвентаря годной питьевой воды путем сооружений водохранилищ, прудов, несомненно, становится все более и более *насушно-неотложным*, ибо он для некоторых районов Украины и многих других областей Всероссийской Федерации неразрывно связан с вопросами землеустройства в частности и аграрным вопросом вообще.

В связи с колонизацией поступающих земель, неосвоенных до сих пор населением в силу неблагоприятных естественно-исторических условий, этот вопрос получает еще большее значение в том направлении, что переселенцы принуждены будут расселяться на площадях, совершенно необеспеченных водой.

Из моей практики в Сибири я вынес впечатление, что вопрос обводнения, вернее, снабжения поселков годной питьевой водой и запасами воды, могущими быть использованными в больших количествах сравнительно быстро и легко во время пожаров, в значительной мере занимает земледельческое население Сибири; и в том учреждении, коим мне пришлось руководить, можно видеть и сейчас груды приговоров сельских сходов, просьб, а порой и требований о постройке прудовых плотин. Эти просьбы исполнялись лишь в весьма незначительной доле и ранее, а в 1922 году выполнение это прекратилось вовсе.

На нашу деревню, в сущности, так мало обращали внимания, так мало уделяли средств для помощи ей, что она в полном смысле слова беззащитна против пожаров и эпидемических заболеваний, возникавших и возникающих в главной мере на почве скверного водоснабжения. И надо отдать справедливость, что население деревни было слишком индифферентно даже к таким насущным своим потребностям. Инициатива со стороны деревни отсутствовала совершенно,

ибо дружная коллективная работа ей была чужда и непонятна. Может этому способствовала политическая жизнь страны—кто знает...

Постройка земляных плотин по своей простоте, по своей понятности для населения должна в скором времени широко развиваться на Украине в связи с общим сдвигом в сторону освоения культурных форм жизни и врожденной любовью каждого украинца к „ставку“ и вишневному саду; поэтому и разработка рационального типа этого вида инженерного сооружения и установление методов проектирования, базированное на теоретическом разрешении задачи, должны привлечь к себе внимание инженерного мира.

Роль земляных плотин в деле водоснабжения поселений настолько важна, что вопрос о рациональном устройстве этих плотин вставал уже несколько раз на прежних'ездах инженеров-гидротехников.

В предлагаемом мною очерке я имел в виду в главной мере эти малонапорные сооружения, имеющие такое огромное применение в нашей русской действительности.

Совершенно не претендуя своим очерком на роль его, как научной работы, я только проанализировал имевшиеся у меня под рукой материалы и расположил в порядке исторического развития дело строительства земляных плотин. Вся просмотренная мною литература, все описанные конструкции навеяли мысль, что дело плотиностроения, уклонившееся во второй половине XIX столетия—в период своего особенного расцвета—в сторону сложных конструкций и комбинаций строительных материалов, определенно переходит на Западе, Индии и Америке к своему прототипу—*чистому типу земляной плотины*.

И я осмеливаюсь думать, что чистый тип земляной плотины (подразумевается внутреннее строение тела плотины из однородного материала) будет наиболее рациональным типом, как со стороны инженерной, так и экономической. И вот, имея в виду этот чистый тип земляной плотины, я и старался найти те основные направления в проектировании таковых, какие бы обеспечивали устойчивость сооружения и, по возможности, сводили бы всю работу проектирования к оперированию с устойчивыми и вполне определяемыми тем или иным путем факторами.



Насколько я успел в этом направлении, предоставляю судить другим объективным лицам, какие, надеюсь, не отнесутся очень строго к моей первой попытке свести вопрос проектирования земляных плотин к точным математическим заключениям, основанным на лабораторных исследованиях, суживая, таким образом, поле деятельности интуиции строителя.

Принося свое искреннее извинение всем тем, кто найдет мои выводы несколько смелыми, я, однако, приступая к своей работе, твердо базировался на том принципе, что как-бы сооружение ни было мало по своим размерам, всякий техник-строитель может и *обязан* применять при проектировании и свои знания, и свой опыт целиком, не следуя слепо установившимся приемам, ибо только при таком условии возможны и рациональность запроектированной конструкции, и долговечность, и экономичность сооружения.

Инженер Я. Женько.

20 февраля 1923 г.
Харьков.



Подходы к проектированию земляных плотин

„Масштабом для инженера должен служить рубль“.

(Слова на лекции проф. С. И. Белзецкого).

Вступление.

Земляная плотина, как сооружение водоудержательное, может быть смело названа самым древним инженерным сооружением в области гидротехники. Несомненно и то, что сооружение это впервые появилось там, где население в силу определенных водных условий занимаемой им территории принуждено было собирать и сохранять воду из атмосферных осадков для обеспечения себя и своих животных питьевой водой. Для этой цели и была построена первая *запруда* — в естественной впадине земной поверхности.

Позднее, с развитием земледельческой культуры в странах, страдающих недостатком влаги, население стало устраивать водоемы для орошения культивируемых земельных угодий.

Очень долгий ряд веков скрыл от нас первые виды этого сооружения, ревниво оберегая свою тайну, и лишь по отдельным, полустлевшим и разрозненным страницам древности пытливым человеческий ум сумел кое-что прочесть из истории древней человеческой культуры и связать в одно гармоническое целое разрозненные знаки, сохранившиеся на этих страницах. Исследования археологами остатков древних сооружений, предания народов и записки древних историков указывают определенно на то, что первые шаги в области постройки земляных плотин были сделаны в странах древней культуры: Малой и Средней Азии, Египте, Индии, Китае и Перу. Позднейшие работы немецких археологов в самом древнем из очагов человеческой культуры — Месопотамии, выяснили, что здесь, чуть-ли не за 100 тысяче-

летий до Христианской Эры, в царстве древних сумеров были произведены крупные гидротехнические работы по защите от наводнений реками Тигром и Ефратом и ирригации, в каковых работах необходимым элементом входили земляные дамбы — плотины. Защищенная от катастрофических наводнений и орошаемая мощной ирригационной сетью Месопотамия представляла некогда цветущую страну. Пришлые нации и время разрушили эти сооружения древних сумеров, что давали жизнь всему краю, оплодотворяя тогда ныне бесплодную пустыню, и стерли следы их, и только по отдельным разрозненным знакам ученые сумели восстановить прежнюю картину и пролить некоторый свет в туман легендарных сказаний народов, случайно соприкасавшихся с сумерами, об обетованной земле.

Устройство водохранилищ путем рытья больших котлованов (копаней), как, например, построенное за долго до начала Христианской Эры озеро Мёрис ¹⁾ близ Мемфиса в Египте, сопряжено было с большими трудностями и огромной затратой рабочей силы, поэтому даже на заре человеческой культуры водоемы устраивались путем сооружения запруд в естественных впадинах земли.

Далее, когда человечество впервые осознало возможность использования энергии падающей воды, земляные плотины стали строиться и на небольших водотоках: с помощью плотин создавался искусственный водопад, который завертел колесо первой мельницы, построенной у такой плотины, и явился двигательной силой для поднятия воды на необходимую высоту для целей оросительных.

Весьма понятно почему начал развиваться такой вид инженерных сооружений, как земляная запруда: материал для тела запруды был всегда под рукой. Материал этот — земля, не требовал ни предварительной обработки, ни больших затруднений для своей разработки и позволял возводить сооружение с помощью самых примитивных орудий; поэтому земляная плотина и является одним из самых распространенных инженерных сооружений во всех странах.

¹⁾ Озеро Мёрис по Геродоту имело периметр 530 километров и глубину 80 метров. В настоящее время озеро имеет в окружности 80 км. („Die geschichte des ingenieurwesens im Alterum“ — Curt Merckel).



Кажущаяся примитивность постройки земляных плотин и побуждала, быть может, долгое время так пренебрежительно относиться к себе инженерный мир, считавший ненужным и разрешение вопроса научно, и техническую разработку методов постройки. Только начиная со второй половины девятнадцатого века вопрос о способах постройки и методах, хотя бы примерного расчета, стал дебатироваться французскими и английскими инженерами в связи с возникшими надобностями в постройке крупных сооружений подобного типа во Франции, старой Англии, Америке, Индии и т. д.

Следует заметить, что земляная плотина по характеру своего строительного материала наиболее подходит к стремлениям человечества создавать долговечные сооружения, ибо при разумно устроенных водоотводных приспособлений и осмысленном учете всех вредно влияющих на сооружение факторов земляная плотина, как сооружение, сложенное из материала, неподверженного выветриванию и гниению, может существовать долгие и долгие века.

Затронутый нами вопрос имеет свою и довольно обширную литературу, но каждый труд в названной области вопрос о проектировании чистого типа *земляных насыпей*, удерживающих воду, затрагивает довольно бегло.

И это весьма понятно: ибо существует так много построенных земляных плотин, от малых до грандиозных по размерам, в которых основной строительный материал — земля, комбинируется со множеством других материалов, как-то: камень, кирпич, бетон и даже железо, почему невольно внимание каждого автора останавливается на сооружениях подобного типа.

Стремление увеличить стойкость земляной плотины против такого вредного для сооружения явления, как фильтрация, и желание достигнуть большей водонепроницаемости сооружения заставляли инженеров долгое время мыслить в направлении комбинирования разнородных строительных материалов и только в недавние годы у некоторых из строителей и авторов начинает появляться сомнение в целесообразности подобного комбинирования ¹⁾.

¹⁾ Например: английские инженеры: W. W. Follet, B. Bassell.



Чистый тип земляных (по материалу) плотин разработан и в литературе, и в натуре слабо: может соображения экономического порядка заставляли каждого строителя уклоняться в сторону того или иного сочетания строительных материалов с целью получения в итоге компактности и экономичности сооружения при тех объективных данных, какими он располагал. Правда, в литературе есть указания на такую плотину, которая может быть названа чистым типом—земляной: это намывные плотины или, как их называют иностранные источники, плотины *гидравлического наполнения*. Но всеми авторами указана только схема намывных плотин, уясняющая лишь самый принцип постройки этих плотин, например, у авторов: Schuyler, Tourneure and Russell, Parker, White, Wegmann. Даже такой интересный автор, как Скайлер, собрал обстоятельные по существу данные лишь в виде ряда описаний построек намывных плотин. Может быть замеченная нами особенность изложения материалов по постройке земляных плотин у многих солидных авторов объясняется тем обстоятельством, что в проектировании земляных плотин менее всего должны участвовать рецептура и шаблон, ибо каждому строителю этого типа сооружений приходится иметь дело с такими влияющими факторами, какие еще не разрешены научно.

Это обстоятельство не позволяет вопрос проектирования свести к определению тех или иных свойств отдельных простых элементов лабораторным путем, как это сделано для сооружений из других строительных материалов.

В области такого инженерного дела, как постройка земляных плотин, каждому строителю предоставляется широкий простор для творчества и умело-проникновенного учета всех возможных явлений и их возможной вариации.

Методы проектирования.

Чистый тип земляной плотины представляет из себя призматическое тело из любой сыпучей массы, однородной по всей профили тела плотины (растительная земля, супесок, суглинок, песок, галька и т. д.).

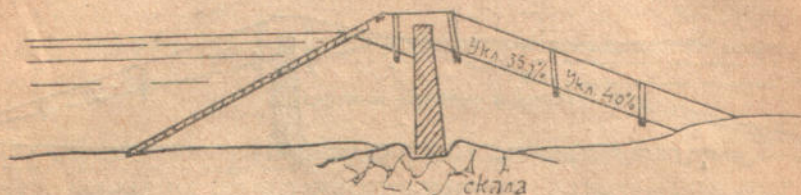
Материалом для тела плотины может служить любой грунт или любая комбинация грунтов. Дальнейший ход метода проектирования покажет сам по себе, каким грунтам или какой комбинации грунтов—*важно только, чтобы смесь была однородной во всей профили плотины*—следует отдать предпочтение, исходя из соображений экономических или величины дебита устраиваемого водохранилища.

Слагаемость тела плотины из сыпучей массы выясняет такие особенности сооружения: во-первых—*водопроницаемость плотины*, во-вторых—*отсутствие прочной связности* между отдельными слагающими сыпучую массу частицами, что в свою очередь приводит к заключению о невозможности расчета на статическую устойчивость сооружения (скольжение, опрокидывание, определение предельных напряжений), поэтому нет ничего удивительного в том, что таковой расчет почти отсутствовал.

В отношении проектирования мысль строителей шла в двух направлениях: одни—заставляли земляную массу, кроме сопротивления сдвигу, сопротивляться фильтрации, прибегая для этого к искусственной смеси строительных материалов; другие—оставляли земляной массе только сопротивление сдвигу, исключая фильтрацию через тело плотины или путем устройства вертикальной каменной стенки вблизи напорной грани, или с помощью водонепроницаемой передней (напорной) грани—старый французский способ. Этот последний способ постройки земляных плотин имеет за собой весьма ценные качества в том направлении, что позволяет без большого вреда для сооружения, вернее, без риска устраивать водовыпускные приспособления в самом теле плотины. Идея отделения водонепроницаемости сооружения от его общей устойчивости привела в английской и американской практике к устройству в теле плотины водонепроницаемого ядра (замка). Размеры замка были установлены практикой таковыми: ширина замка у основания проектировалась равной— $\frac{1}{3}h$ (h —эффективный напор), ширина по-верху от 1.00 до 2.00 метр'ов.

Английские и американские инженеры долгое время считали должным и необходимым сосредотачивать все внимание при постройке плотины на ее небольшой части—ядре, предполагая, что фильтрацион-

ная вода будет проникать только до ядра, оставляя остальную часть плотины сухой. Однако, позднейшие исследования некоторых существующих плотин в связи с опасным состоянием таковых показали, что фильтрация существует через весь профиль тела плотины, т. е. и позади ядра. Хорошей иллюстрацией этого явления могут послужить работы комиссии экспертов по исследованию плотины New Croton и чертежи, составленные на основании этих исследований (черт. 1а и 1б).



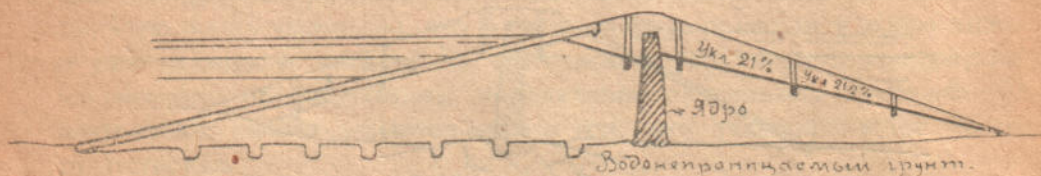
Черт. 1а.

Исследования плотин в отношении их сопротивляемости фильтрациям и привел к тому, что в позднейших сооружениях строители совершенно отказались от устройства водонепроницаемого ядра. Последнее веяние в американской практике выявилося в типе плотины, показанной на чертеже (6). В этой конструкции материал различной плотности и крупности в поперечной профили тела плотины размещен по отдельным частям. Будучи однородным в каждой отдельной части, строительный материал, по мере удаления отдельной части от напорной грани, приобретает все большую и большую пористость, чем обеспечивается отвод профильтровавшейся воды через первые водопорные слои из тела плотины.

Приводимые ниже чертежи (2, 3, 4, 5 и 6) нескольких характерных типов существующих земляных плотин, начиная с древнейшей плотины *Куммон*, построенной в Индии еще в начале истории Индусов, до новейших американских конструкций наглядно иллюстрируют процесс развития строительства земляных плотин и приближение новейших конструкций к первотипу.



Вообще же все проектирование земляных плотин, в особенности малых размеров, сводится к приурочиванию к данной высоте напора и площади зеркала водохранилища всех требований и данных, выработанных долгой практикой, как-то: углов откосов, ширины гребня, превышения гребня плотины над проектным горизонтом воды и т. д. Некоторые из этих данных устанавливаются порой от чисто побочных относительно устойчивости сооружения соображений: например—ширина гребня плотины:



Черт. 1б.

Известные формулы, существующие для определения размеров отдельных элементов сооружения, носят чисто эмпирический характер: например, по Люгеру:

Ширина гребня — $b = 3.00 + 0.3(h - 3)$, в метрах;

„ основания $L = b + H(\cotg \varphi_1 + \cotg \varphi_2)$;

где h — эффективный напор; H — высота плотины;

φ_1 и φ_2 — углы откосов.

Английская формула по Trautwiscne'y:

Ширина гребня — $b = 2 + 2\sqrt{H}$ — в футах.

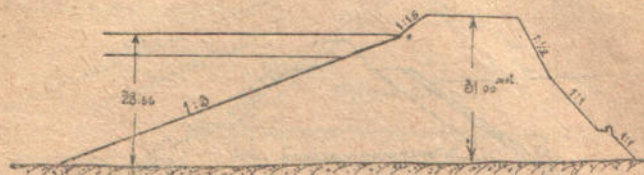
Французские формулы:

Понселе $b = 0.7h$

Белидора $b = h$.

Правда, в английской литературе у некоторых авторов есть тенденции внести в основу проектирования расчет на скольжение или установление ширины основания плотины с помощью нахождения расчетным или опытным путем длины фильтрационной линии по основанию сооружения, исключаяющей возможность вымывания фильтра-

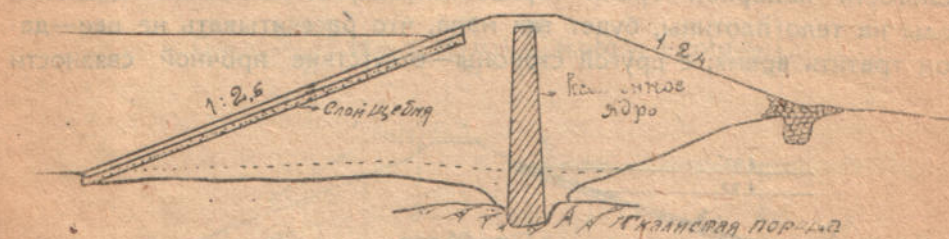
ционными водами частиц материала, слагающего тело плотины¹⁾. И, наконец, последняя метода—приурочивание к данному строительному материалу определенного уклона депрессионной линии, величина коего установлена путем наблюдений над целым рядом уже работающих сооружений и варьируется в пределах 20—35%.



Черт 2. Плотина Куммун в Индии.

Для определения размеров ширины основания плотины Bassell²⁾, например, исходя из статистического расчета на скольжение дает такую формулу:

$$L = \frac{\gamma \cdot k}{\delta \cdot f} h,$$



Черт 3. Типичная земляная плотина новой Англии.

где h —эффективный напор;
 k —коэффициент безопасности, принимаемый Басселем равным 10;
 γ —вес воды в единице объема;
 δ —вес строительного материала в единице объема;
 f —коэффициент трения по основанию, равный 1.

¹⁾ Проект Morison'a плотины Bohio (Панамский канал). Опыты Clibborn'a, опыты и формулы Bligh'a

²⁾ В. Bassell (Earth Dams) в русском переводе инженера Н. Н. Павловского.

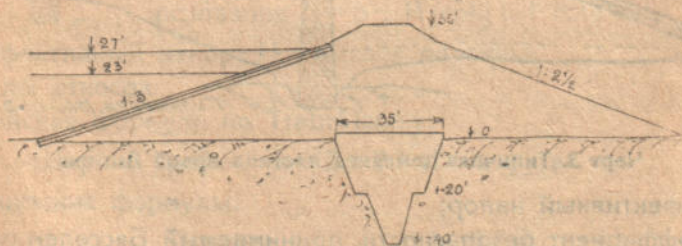


Если последний прием расчета может найти некоторое обоснование в случае наличия в теле плотины водонепроницаемого ядра из компактной, с большой связностью между отдельными частицами массы, или водонепроницаемой напорной грани при малых углах откосов, то в случае чистого типа земляных насыпей расчет на скольжение едва-



Черт 4. Французская плотина Charmes.

ли нужен, да и возможен ли, так как с одной стороны—при большой пологости напорной грани горизонтальная составляющая давления воды на тело плотины, будет так мала, что рассчитывать на нее—даром тратить время; с другой стороны—отсутствие прочной связности

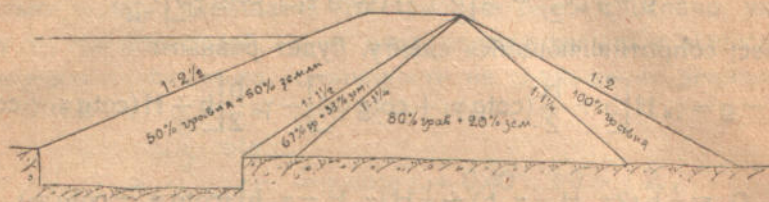


Черт 5. Плотина Baroda в Индии.

между отдельными частицами, слагающими тело плотины, и проницаемость этой массы водою, не позволяет применять ту же игру внешних сил, какая применима для твердого тела или того случая, когда передача давления на сыпучую массу производится твердым телом.



В самом деле, предположим некоторую общую связность между отдельными частицами массы тела плотины и, ставя вопрос сопротивления плотины сдвигу, как сопротивление твердого тела, будем иметь: (чертеж 7).



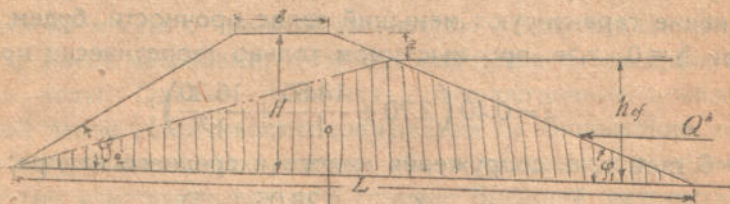
Черт. 6. Ново-американский тип земляной плотины.

Горизонтальную, составляющую давления воды на напорную грань:

$$Q^h = \gamma_0 \frac{h^2}{2};$$

вес погонной единицы длины плотины:

$$G = \gamma_k \frac{b+L}{2} H = \gamma_k H \left[b + \frac{H}{2} (\cotg \varphi_1 + \cotg \varphi_2) \right],$$



Черт. 7.

где

- γ_0 — вес воды в единице объема;
- γ_k — вес единицы объема сыпучей массы;
- H — высота плотины;
- h — эффективный напор;
- b — ширина гребня плотины.

Пусть для простоты расчета депрессионная линия будет иметь вид прямой, показанной на чертеже 7, тогда вес вытесненной воды грубо приближенно будет равным:

$$g = \gamma_o \frac{Lh}{2} = \gamma_o \left[b + H (\cotg \varphi_1 + \cotg \varphi_2) \right] \cdot \frac{h}{2};$$

тогда вес, сопротивляющийся сдвигу, будет равным:

$$G_o = G - g = \gamma_k H \left[b + \frac{H}{2} (\cotg \varphi_1 + \cotg \varphi_2) \right] - \gamma_o \frac{h}{2} \left[b + H (\cotg \varphi_1 + \cotg \varphi_2) \right],$$

или

$$G_o = \frac{1}{2} b (2 \gamma_k H - \gamma_o h) + \frac{1}{2} H (\gamma_k H - \gamma_o h) (\cotg \varphi_1 + \cotg \varphi_2).$$

Коэффициент устойчивости на скольжение будет равен:

$$\xi = \frac{\Sigma G}{\Sigma Q h} = \mu \frac{b (2 \gamma_k H - \gamma_o h) + H (\gamma_k H - \gamma_o h) (\cotg \varphi_1 + \cotg \varphi_2)}{\gamma_o h^2},$$

где

μ — коэффициент трения по основанию;

ΣG — сумма всех действующих вертикальных сил;

ΣQ — сумма всех действующих горизонтальных сил.

Подставляя значения величин, выработанные долгой практикой или полученные путем опыта, но, однако, выбирая те значения величин, какие гарантируют меньший запас прочности, будем иметь:

При $b=0$, т. е. при мыслимом только теоретически профиле:

$$\xi = 0.40 \left(2.70 + \frac{14.85}{h} + \frac{16.20}{h^2} \right);$$

при $b=6$ мет, т. е. сооружения малого и среднего напора:

$$\xi = 0.40 \left(2.70 + \frac{28.05}{h} + \frac{45}{h^2} \right);$$

при чем значения величин приняты:

$$\gamma_k = 1,6 \text{ ton/met.}^3;$$

$$\gamma_o = 1,0 \text{ ton/met.}^3;$$

$$a = 1,5 \text{ metr}^2 a; H = h + a;$$

$$\cotg \varphi_1 = 3,0;$$

$$\cotg \varphi_2 = 1,5;$$

$$\mu = 0,40.$$

Если же будет учтено вертикальное давление воды на напорную грань — $Q^w = \gamma_0 \frac{h^2}{2} \cotg \gamma_1$, —, упущенное нами умышленно, а оно обыкновенно учитывается для сооружений из монолитной массы с прочной связностью между частицами, то таковое одно способно удержать плотину от сдвига водой, т. е. даст дополнительно к вычисленному выражению коэффициента устойчивости на скольжение величину:

$$\mu \frac{\gamma_0 \frac{h^2}{2} \cotg \gamma_1}{\frac{\gamma_0 h^2}{2}} = \mu \cotg \gamma_1 = 0.40 \times 3.0 = 1.2.$$

Эта игра сил давления водной массы на наклонную плоскость и служит обыкновенно обоснованием проектирования легких конструкций железобетонных плотин.

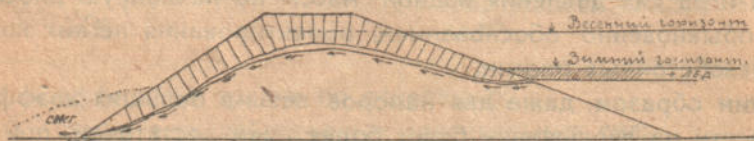
Таким образом, даже для напоров весьма больших коэффициент устойчивости на скольжение будет более, чем достаточен; при малых напорах он будет сильно возрастать.

Итак, элементарный подсчет коэффициента устойчивости на скольжение дает величину большую, чем это потребно для устойчивости сооружения из массы с прочной связностью между отдельными слагающими эту массу частицами, хотя бы эта масса была вполне проницаема для воды. Однако, практика плотиностроения показала, что даже такой запас устойчивости сооружения на скольжение не предохраняет сооружение от разрушения, ибо в процессе разрушения земляных плотин участвуют факторы гораздо большей важности, чем ее статическая устойчивость; да и инженерная практика до сей поры не зарегистрировала ни одного случая сдвига земляной плотины водой в противоположность каменным: *промыв земляной плотины не означает сдвига ее с основания.*

Отсюда вывод один: к проектированию земляной плотины надо подходить не с расчетом на ее статическую устойчивость, а базироваться на других основаниях, считаясь только с факторами вредно-воздействующими на сооружение, на его устойчивость и службу во времени.

Главнейшими из таких факторов будут: во-первых— явление фильтрации через тело плотины; во-вторых— фильтрация по линии сопряжения тела плотины с основанием; в-третьих— капиллярность пористой массы.

Разрушающее воздействие фильтрующейся через тело плотины воды скажется тогда, когда фильтрационные воды, достигая в своем движении несмоченной грани насыпи, сохраняют некоторый остаточный напор, вымывающая энергия которого будет способна отрывать частицы сыпучей массы, слагающей плотину. Наличие такого явления обыкновенно вызывает оползни, подмывание подошвы плотины у ненапорной грани, вынос материала изнутри плотины и в результате промыв сооружения.



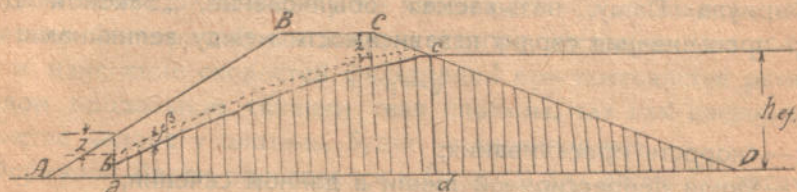
Черт. 8.

Влияние капиллярности на службу плотин в странах с суровым климатом и резкими колебаниями температур будет не менее разрушительным, если при проектировании не было обращено должного внимания на толщину слоя, перекрывающего депрессионную поверхность фильтрующейся воды, ибо малая толщина этого слоя, уменьшенная еще капиллярностью сыпучей массы, предоставит возможность промерзания смоченной земли и образования в ней в силу этого трещин-морозобин: роль таких трещин весьма понятна. Кроме того, если плотина нова и в силу этого находится еще в периоде общей деформации—осадки, то трещины могут образоваться параллельными толщине промерзшего слоя с открытой поверхности плотины (чертеж 8), ибо увлажненная осенними дождями с поверхности до высоты капиллярного слоя земляная масса плотины поверхностного слоя при замораживании образует прочный свод, не участвующий в общей осадке плотины,



Такие поперечные трещины при под'еме весенней воды в водохранилище выше их вершин, что происходит скорее, чем оттает почва по всей глубине промерзания. образуют сифоны, скорость движения воды в которых будет гораздо больше той, которая нужна для выноса отдельных частиц материала плотины. В результате материал плотины будет вынесен из-под замерзшей коры ранее, чем обрушится импровизированный свод. (Подобный случай разрушения плотины произошел в бывшем имении Ново-Александрийского института сельского-хозяйства и лесоводства „Конска-Воля“ и был зафиксирован снимками. проф. Ю. В. Ланге, каковые были любезно Ю. В. показаны автору этой статьи).

Все высказанные соображения заставляют в основу проектирования земляной плотины положить такую методу, которая бы давала возможность получить искомую поперечную профиль тела плотины при условии исключения разрушающего воздействия названных факторов. Эта метода нами мыслится таковой: всю задачу проектирования мы расчлняем на отдельные, более или менее простые, элементы, включающие названные факторы, и определяем их в последовательном порядке и по возможности вне зависимости одних от других.



Черт. 9.

Намечаемые основные этапы проектирования будут следующие: первый — получение очертания депрессионной поверхности фильтрующейся через тело плотины воды и второй — построение огибающей ломаной линии (контура поперечного сечения тела плотины) путем применения выбранных и оправданных теоретическими или практическими исследованиями углов откосов граней и *нужного превышения* огибающей поверхности над соответствующими ординатами поверхности депрессий (чертеж 9).

Фильтрация через тело плотины.

Вопросом о фильтрации через сыпучие массы, вернее, вопросом о движении грунтовых вод занимались многие ученые исследователи, и литература по данному вопросу довольно солидна. Первым исследователем, установившим твердые начала в теории движения грунтовых вод, был французский ученый Darcy ¹⁾. Методом Дарси пользовались почти все другие ученые для своих исследований вопроса о движении воды в пористых грунтах. Формула Дарси чрезвычайно проста сама по себе, но, как всякая эмпирическая формула содержит в себе много допущений. Постоянный коэффициент в уравнении движения грунтовых вод, предложенном Дарси, имеет весьма широкое значение, ибо включает в себя значительное количество разнообразных действующих факторов, как первоочередной важности, так и факторов второстепенного значения. какие, будучи выделенными, давали бы возможность большего простора для классификации грунтов в смысле их пригодности для сооружения земляных плотин.

Формула Darcy, называемая обыкновенно, „Законом Дарси“, эффект просачивания сводит к зависимости между величинами:

$$v = \mu i,$$

где

v — скорость просачивания;

i — уклон депрессионной линии в данном сечении;

μ — коэффициент сопротивления сыпучей массы движению воды, учитывающий физическое состояние, как сыпучей массы, так и воды.

Формула Дарси легко получается из уравнения движения воды, данного еще Prouy:

$$\frac{\omega}{\gamma} i = \alpha v + \beta v^2;$$

¹⁾ Darcy: Les fontaines publiques de la Ville de Dijon 1856 an.

где

$\frac{\omega}{\chi}$ — выражение для гидравлического радиуса;

α и β — числовые коэффициенты.

При незначительности скоростей фильтрации последним членом уравнения Ргопу можно пренебречь, как величиной весьма малой и не влияющей на конечный результат, тогда будем иметь:

$$\frac{\omega}{\chi} i = \alpha v,$$

или

$$v = \frac{\omega}{\chi \alpha} i = \mu i.$$

Гидравлический радиус для всякой натуральной проницаемой почвы есть определенная величина, зависящая от величины и формы пустот между отдельными слагающими массу частицами, через которые и происходит течение воды.

Смысл формулы Дарси заключается в следующем: коэффициент сопротивления или, как его называют иначе — „коэффициент просачивания“ для однообразной сыпучей массы остается постоянным на всем протяжении фильтрации: вся энергия напора расходуется на сопротивление и изменение скоростей фильтрации при постоянстве расхода q в каждом продольном сечении тела плотины, так как движение при постоянстве напора у плотины будет установившимся.

Формулой Дарси пользовался и Dupuit¹⁾ для своих теоретических исследований движения фильтрационных вод.

Дальнейшие исследователи дополнили и развили общую теорию движения фильтрационных вод в песках; из них наиболее известны: Форгеймер (Forchheimer²⁾), Люгер (Lueger³⁾). Названные авторы принимают за основание закон Дарси о сопротивлении движению фильтрационных вод и каковой находят вполне достаточным для раз-

1) Dupuit: Etudes théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux

2) Forchheimer: Ueber die Ergiebigkeit von Brunnenanlagen und Sickerschlitten.

3) Lueger: Theorie der Bewegung des Grundwassers.

решения практических задач. Последняя работа Форгеймера, помещенная в журнале: Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure за 1901 г. под заглавием: „Wasserbewegung durch Boden“ представляет критическую сводку всех данных формул для движения воды в пористых грунтах и результатов его последних опытов. (Дело в том, что некоторые исследователи, как, например, Smreker в журнале Z. des V. deut. J. 1878—1881 г.г. и Kröber в том же журнале выразили сомнение в удовлетворительности формулы Darcy и на основании своих наблюдений дали значения для силы сопротивления движению фильтрационных вод в таком виде: первый — $v^2 \left(\alpha + \frac{\beta}{\sqrt{v}} \right)$, второй — $v \left(\frac{8+2d}{8+d} \right)$, где d— диаметр частиц сыпучей массы). Этой последней работой Форгеймер на основании своих весьма тщательных опытов определенно подтверждает закон Дарси.

Из русских ученых наиболее интересные работы по вопросу о движении грунтовых вод в песках принадлежат профессору Н. Е. Жуковскому, и все они базированы на законе Дарси.

Итак, принимая за основание закон Дарси, как оправданный и подтвержденный опытами многих исследователей, мы сможем написать уравнения движения воды в сыпучей массе в самом общем виде. Обозначая величину силы сопротивления—

$$\frac{g \cdot v}{k}$$

и действующие силы:

X —потенциальная сила, так как движение воды будет происходить под действием силы тяжести;

P —давление в данной точке, и пользуясь *началом Даламбера*, будем иметь уравнения движения в таком виде:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{d^2x}{dt^2} &= X_p - \frac{dp}{dx} - \frac{gv_x}{k} \rho \\ \rho \frac{d^2y}{dt^2} &= Y_p - \frac{dp}{dy} - \frac{gv_y}{k} \rho \\ \rho \frac{d^2z}{dt^2} &= Z_p - \frac{dp}{dz} - \frac{gv_z}{k} \rho \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 1$$

где:

X, Y, Z — компоненты потенциальной силы U , равные соответственно: $\frac{dU}{dx}, \frac{dU}{dy}, \frac{dU}{dz}$; v_x, v_y, v_z — компоненты скорости V .

Пренебрегая силами инерции в виду незначительных скоростей фильтрации и преобразовывая уравнения, будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} V_x &= -\frac{k}{g} \left(\frac{1}{\rho} \frac{dP}{dx} - \frac{dU}{dx} \right) \\ V_y &= -\frac{k}{g} \left(\frac{1}{\rho} \frac{dP}{dy} - \frac{dU}{dy} \right) \\ V_z &= -\frac{k}{g} \left(\frac{1}{\rho} \frac{dP}{dz} - \frac{dU}{dz} \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 2.$$

или обозначая

$$\eta = \frac{P}{g\rho} - \frac{U}{g},$$

напишем уравнения в виде:

$$\left. \begin{aligned} V_x &= -k \frac{d\eta}{dx} \\ V_y &= -k \frac{d\eta}{dy} \\ V_z &= -k \frac{d\eta}{dz} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 3.$$

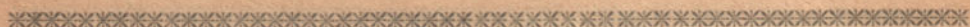
Так как движение происходит под действием силы тяжести, то силовая функция

$$U = -gz;$$

отсюда, обозначая атмосферное давление через P_0 , имеем:

$$\eta = z + \frac{P}{g\rho}, \text{ или } \eta = z + z_1 + \frac{P_0}{\rho g},$$

т. е. η — есть пьезометрический напор в данной точке и, следовательно движение будет происходить в сторону убывания такового.



Уравнение непрерывности движения через данное сечение будет иметь вид:

$$\frac{d\omega}{dt} + \frac{dq}{ds} = 0 \quad 1)$$

где:

ω — площадь данного сечения, через которое происходит фильтрация,

q — расход воды через это сечение.

При установившемся движении площадь фильтрации в данном сечении сохраняет постоянную величину, следовательно:

$$\frac{d\omega}{dt} = 0$$

и уравнение непрерывности примет вид:

$$\frac{dq}{ds} = 0,$$

или выражая через компоненты нормали, будем иметь:

$$\frac{dq_x}{dx} + \frac{dq_y}{dy} + \frac{dq_z}{dz} = 0 \quad \dots \dots \dots 4$$

заменяя

$q = \varepsilon \cdot v \cdot \eta^2$), получим:

$$\frac{d(v_x \eta)}{dx} + \frac{d(v_y \eta)}{dy} + \frac{d(v_z \eta)}{dz} = 0 \quad \dots \dots \dots 4'$$

при ограничении непроницаемыми стенками и горизонтальном основании сыпучей массы величинами v_y и v_z можно пренебречь и тогда уравнение (4') примет вид:

$$\frac{d(v_x \eta)}{dx} = 0 \quad \dots \dots \dots 5$$

1) Flamant, Hydraulique, p. 26, 1900 г.

2) ε — коэффициент пористости сыпучей массы.



Представляя из уравнения (3) значение $v_x = -k \frac{d\eta}{dx}$, получим дифференциальное уравнение движения воды в сыпучей массе при наличии поставленных нами условий:

$$\frac{d^2(\eta^2)}{dx^2} = 0 \dots \dots \dots 6$$

Уравнение кривой депрессий,

Уравнение *линии тока* получается из интегрирования дифференциального уравнения (6):

$$\eta^2 = C_1 x + C_2 \dots \dots \dots 7.$$

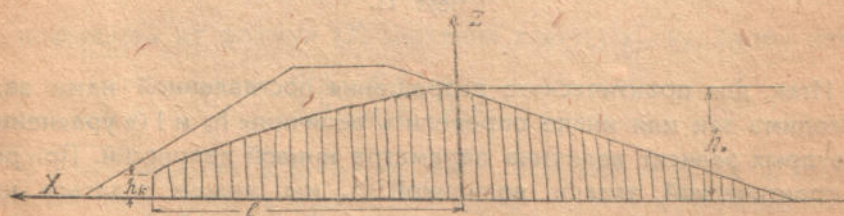
Для определения уравнения кривой депрессий потребуется определение постоянных C_1 и C_2 , кои мы и определим, исходя из таких граничных условий (чертеж 10):

1. На свободной поверхности давление $P=0$, постоянным членом, зависящим от атмосферного давления P_0 — пренебрегаем;
2. Пнезметрический напор при $x=0$

$$\begin{aligned} \eta &= z_0 = h_0, \text{ при } x=0 \\ \eta &= h_R; \end{aligned}$$

Тогда постоянные будут равны:

$$\begin{aligned} C_1 &= -\frac{h_0^2 - h_R^2}{l}, \\ C_2 &= h_0^2. \end{aligned}$$



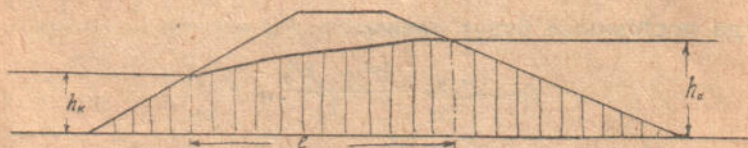
Черт. 10.

Уравнение свободной поверхности будет иметь вид:

$$\eta^2 = -\frac{h_0^2 - h_k^2}{l} x + h_0^2 \dots \dots \dots 8.$$

Полученное уравнение кривой депрессий не содержит в себе коэффициента сопротивления сыпучей массы фильтрации— k в явном виде, т. е. того основного элемента, какой нам особенно необходим для определения степени пригодности того или иного строительного материала для наших конкретных заданий. Однако, если мы подойдем к практическому разрешению нашей задачи, то неизбежно принуждены будем оперировать с таковым при определении h_k и l , от которых зависит величина параметра кривой депрессий.

Если мы вообразим такой случай, как призму, состоящую из сыпучей массы и служащую границей двух бассейнов с разными стояниями горизонтов воды, то уравнение (8) будет определять кривую депрессий, какая установится в данной призме, вне зависимости от коэффициента k и, следовательно, будет иметь одинаковый вид для разных грунтов, были бы эти грунты только проницаемы для воды (чертеж 11).



Черт. 11.

Итак, для практического разрешения поставленной нами задачи необходимо так или иначе определить величины h_k и l (в уравнении 8), от которых зависит величина параметра кривой депрессий. При решении практической задачи величиной h_k мы можем задаться какой угодно, вернее, выбрать ее соответственной могущей быть примененной системой дренажа у сухой грани плотины.

Величину проекции депрессионной кривой— l получим из уравнения для скорости в конечной вертикали кривой. Пользуясь формулой (3) и подставив в нее значение $\frac{d\eta}{dx}$ из уравнения (8), будем иметь:

$$V_x = k \frac{h_0^2 - h_k^2}{2l} \cdot \frac{1}{\eta}, \dots \dots \dots 9$$

или при $\eta = h_k$

$$V_x = k \frac{h_0^2 - h_k^2}{2h_k l} \dots \dots \dots 9'$$

Далее мы должны уже стать на путь лабораторных исследований грунта, из которого проектируется строить плотину; ибо для определения величины l в формуле 9' нам нужно получить величины: *коэффициента сопротивления* грунта фильтрации— k и *предельной допустимой скорости* фильтрации в конечной вертикали кривой депрессий.

Предельная величина скорости фильтраций может быть получена из опыта при пользовании прибором Клибборна (Clibborn'a ¹⁾ и его методом производства опытных исследований грунта.

Для опытного определения коэффициента k воспользуемся решением задачи профессором Н. Е. Жуковским для случая фильтрации через горизонтальный пласт сыпучей массы в вертикальном направлении ²⁾.

Условие отсутствия об'емной деформации воды или, выражаясь иначе, условие несжимаемости будет иметь вид:

$$\frac{dv_x}{dx} + \frac{dv_y}{dy} + \frac{dv_z}{dz} = 0,$$

или, подставляя из формул (3) значения для v_x , v_y , v_z , будем иметь:

$$\frac{d^2\eta}{dx^2} + \frac{d^2\eta}{dy^2} + \frac{d^2\eta}{dz^2} = 0. \dots \dots \dots 10.$$

¹⁾ Статья инженера В. В. Чикова, 1916 г., переложение статьи J. Clibborn'a: Experiments made on the passages of water through the Sand of the Chenol river etc...

²⁾ Статья Н. Е. Жуковского: „Теоретическое исследование о движении под почвенных вод“. Журнал Физико-Химич. Общества за 1889 г.

Пусть: η_1 — давление на верхней грани слоя сыпучей массы (чертеж 12);

η_2 — давление на нижней грани;

h — толщина слоя сыпучей массы;

z — расстояние точки от верхней грани слоя;

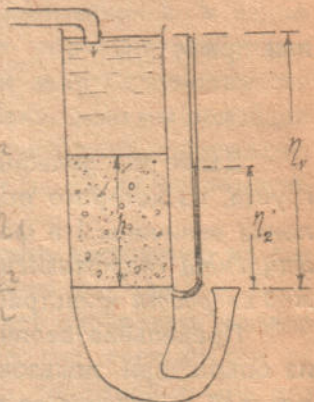
мы удовлетворим условию (10) и граничным условиям опыта, получив решение для функции η в таком виде:

$$\eta = -\frac{\eta_1 - \eta_2}{h} z + \eta_1$$

Скорость движения фильтрующейся воды будет равна отсюда:

$$v = k \frac{\eta_1 - \eta_2}{h}$$

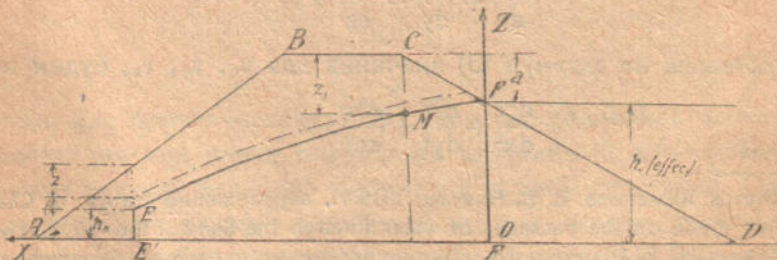
полагая $\eta_1 - \eta_2 = h$, видим, что коэффициент $-k$ представляет скорость воды, протекающей в вертикальном направлении через горизонтальный слой сыпучей массы.



Черт. 12.

Очертание поперечной профили плотины.

Решенная нами задача, правда, с большим приближением позволяет получить очертание поперечной профили тела плотины более



Черт. 13.

рационально, ибо она базируется на основном свойстве каждого строительного материала — его сопротивлении фильтрации.

Пусть фигура FF'EE' представляет построенную для данных конкретных условий кривую депрессий (чертеж/б). Высота плотины Н получится из таких соображений: к высоте стояния фильтрационной воды в точке М нужно прибавить высоту—

$$Z_1 = Z_0 + \beta$$

где : z_0 — глубина промерзания почвы,

β — высота под'ема воды в силу капиллярности, каковая может быть весьма ощутительной для тонких грунтов¹⁾

т. е., общая высота плотины будет равна.

$$H = h_m + Z_0 + \beta.$$

Для местностей с более мягким климатом, где глубина промерзания грунта невелика, возможно общая высота плотины Н, полученная таким путем, будет недостаточна при наличии большой площади зеркала водохранилища и образования в силу этого значительных волн; в таких случаях она должна быть скорректирована высотой максимальной волны, могущей образоваться в проектированном водохранилище. Обыкновенно для этого пользуются формулой Stephenson'a

$$a = 1.5 \sqrt{L} + (2.5 - \sqrt{L}) \text{ в футах,}$$

где: L — наибольшая длина водохранилища в милях²⁾. Отсюда высота плотины получается равной:

$$H = h_{ef} + a.$$

Сухая грань плотины должна пересекать ординату в конечной точке построенной кривой депрессий на высоте:

$$Z = h_k + z_1.$$

1) По опытам Н. Е. Жуковского для песка $d = 0,2 \text{ м/м}$; $\beta = 0,4 \text{ метр'a}$.

2) Английская миля равна 166 версты.

Уклон напорной грани φ_1 должен быть *не более* угла естественного откоса данного строительного материала в воде. Ширина гребня плотины ВС может быть увеличена в силу требований пролегания проезжей дороги через плотину.

Дальнейшие проектные соображения заставляют в целях удержания конечного напора в определенной точке и определенной высоты запроектировать рациональную систему дренажа в этой точке для сбора и отведения фильтрующейся через тело плотины воды. Количество воды, долженствующей быть отведенной дренажем, легко получается из формулы (9):

$$q = \epsilon v_x h_k = \epsilon k \frac{h_0^2 + h_k^2}{2l} \text{ на погонную единицу длины плотины.}$$

Фильтрация по линии сопряжения тела плотины с основанием.

Практика плотино-строения показала, что наиболее легкой для прощипывания фильтрационных вод является линия сопряжения тела плотины с грунтом основания. Как бы хорошо не было приготовлено основание даже с применением штыковки, при всей тщательности укатывания насыпаемого грунта для тела плотины, все же добиться прочной спайки тела плотины с грунтом основания нельзя. Опыты английского инженера Bligh¹⁾ привели к заключению, что длина фильтрационного пути, на котором расходуется вся энергия напора у сооружения, зависит в главной мере от физического состояния грунта основания. В результате своих опытных исследований над целым рядом плотин Bligh¹⁾ дал такую формулу для определения длины фильтрационного пути по основанию сооружения:

$$L = Ch,$$

1) Bligh. The Practical design of Irrigation Works. 2-е издание. стр. 163.

где:

h — напор у сооружения,

C — некоторый коэффициент, характеризующий физическое состояние грунта основания.

Приведем ту классификацию грунтов, какую Bligh дал в своей книге относительно коэффициента C :

I класс. Реки с ложем из легкого ила и грязи, как Нил — $C = 18$.

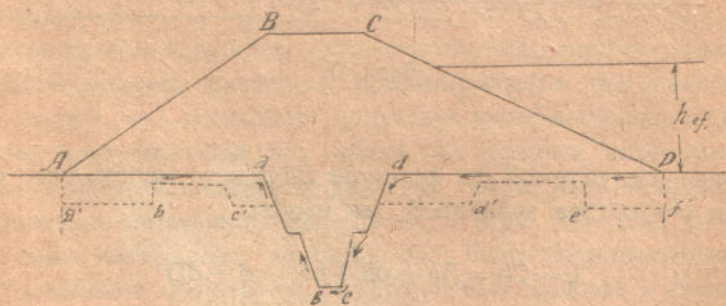
II класс. Тонкий слюдяный песок, как в реках Гималая или Колорадо в Соединенных Штатах — $C = 15$.

III класс. Крупнозернистый песок, как в Центральной и Южной Индии — $C = 12$.

IV класс. Валуны или булыжник, смешанные с гравием и песком C варьируется от 9 до 5.

Для определения величины коэффициента C для грунтов, с коими приходится оперировать в наших русских условиях, потребуются новые специальные и тщательные опыты¹⁾.

Фильтрационные воды, проникая под сооружение, бывают опасны и не для одного такого сооружения, как земляная плотина, где они способны вымывать слагающую тело плотины сыпучую массу, но и



Черт. 14.

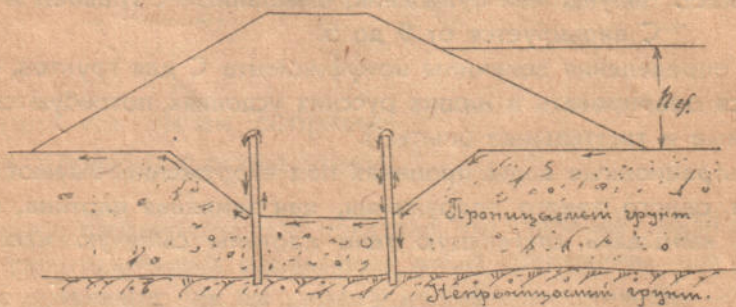
1) Насколько автору известно по наслышке нортоновские трубки, для определения давления фильтрационных вод на основание сооружений, были заложены при возведении гидротехнических сооружений для шлюзования р. Северного Донца. Результаты наблюдений неизвестны.



для сооружений из других строительных материалов. Мировая практика насчитывает не мало случаев катастроф, как результатов не столь должного внимания к явлениям фильтраций.

Итак, пользуясь методой Bligh'я, мы подойдем к такому очертанию линии сопряжения тела плотины с основанием, каковое бы исключало вредное воздействие фильтрующихся по этой линии вод.

Если длина L (ширина основания плотины) будет достаточной для данного грунта основания, т. е. $L = Ch$, то линия сопряжения тела плотины с основанием будет прямая AD (чертеж 14); если же она



Черт. 15.

менее длины, получаемой по формуле Bligh'я, то необходимо ее удлинить путем устройства зуба $abcd$, так чтобы

$$L = Ch = Aa + ab + bc + cd + dD$$

или нескольких зубьев, как показано на чертеже 14.

Наконец, в случае, когда грунт основания плотины слабый и легко проницаемый для воды, задача легко разрешается с помощью заложения одной или двух непроницаемых диафрагм до водонепроницаемого пласта, как это показано на чертеже 15.



2. Напротив, если дебит водохранилища не позволяет расходовать значительное количество воды на фильтрации, то строительный материал придется брать менее проницаемый, и уже в крайнем случае, если это оправдывается экономическими соображениями (дальность, карьера), употреблять искусственную смесь с хорошим грунтом, прибавляя к грунту с крупными частицами грунты более тонкие (глина, растительная земля). Совершенно нет надобности удорожать постройку, приготовляя такую искусственную смесь, какую рекомендуют английские инженеры 1).

Лучшим же разрешением задачи с точки зрения технической будет не приготовление искусственной смеси, а устройство водонепроницаемой передней грани, по возможности, эластичной (например, гидровый слой между слоями щебня и мостовой кладки).

3. Нет совершенно надобности устраивать в теле плотины водонепроницаемое ядро, ибо это была очередная мода, привитая смелой американской практикой, принятая без должной критики и опыта, и нужно было много лет практики и неудачных опытов, чтобы заставить инженерскую мысль выкристаллизироваться в направлении отказа от применения водонепроницаемого ядра. Так поступила западная практика; у нас же многие авторы продолжают повторять зады, рекомендуя применение водонепроницаемого ядра, а за ними плетутся и рядовые работники, не достигая при этом ни одной поставленной цели: ни экономичности сооружения, ибо ядро только удорожает постройку, ни прочности, ибо ядро, сложенное из другого материала, только расслояет земляную насыпь, создавая неравномерную осадку, и совсем не исключает того явления, против чего оно устраивается— фильтрацию.

1) По Herbert'y M. Wilson'y: „Irrigation Engineering“.

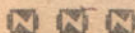
Крупный гравий	1.00 куб. ярд.
Мелкий гравий	0.35 „ „
Песок	0.15 „ „
Глина	0.20 „ „

И т о г о . 1.70 куб. ярд.

Эта смесь после утрамбовки дает объем, равный 1,25 куб. ярд (выписано из книги В. Басселя).

4. Переходя к методам постройки, мы должны, как один из выводов, поставить вопрос, нужны ли при постройке плотины укатывание грунта и какое и его известкование, как это рекомендуют почти все авторы, что довольно значительно должно удорожать постройку. Оставляя этот вопрос открытым для сооружений болшенпорных, мы, имея в виду сооружения малонапорные, какие имеют массовое применение в русской практике, можем смело сказать: *тщательная укатка грунта для них не нужна; лучше насыпать лишнее количество кубов земли за счет расходов по укатыванию, ибо при укатывании не получается однородности в строении массы, слагающей насыпь.*

Мысль эта тем более подтверждается тем фактом, что устраиваемые у нас водохранилища наполняются водой в определенное время года (весеннее таяние снегов); случаи наполнения ливневыми водами чрезвычайно редки, и поэтому за время от конца постройки плотины до весеннего половодья грунт насыпи успеет слежаться и уплотниться в некоторой мере. Дальнейшая работа сооружения будет только увеличивать его водонепроницаемость и, как показала русская практика, сооружение резко уменьшает размеры фильтраций в течение первых 2—3 лет.



Литература

1. Ф. Г. Эброжек. „Курс внутренних водяных сообщений“, изд. 1915 г., отд. III.
2. Р. П. Спарро. „Пособие для сельского водоснабжения“, 1915 г.
3. Ф. Ф. Пржесмыцкий. „Работы по обводнению селений Курской губ.“, 1908 г.
4. В. Д. Фишер. „Плотины в сельском хозяйстве“, 1908 г.
5. „Материалы по опытно-строительному делу“, вып. 2, издан. Совещания по опытно-строительному делу при бывшем Отделе земельных улучшений, 1916 г.
6. Б. Бассель. „Земляные плотины“, перевод Н. Н. Павловского, 1917 г.
7. Люгер. „Водоснабжение городов“, русский перевод, 1904 г.
8. Д. Д. Неелов. „Устройство плотин“, 1884 г.
9. Опыты Клибборна, переложение В. В. Чикова, 1916 г.
10. Wegmann. „The Design and Construction of Dams“, 1911 г.
11. Schuyler. „Reservoirs for Irrigation, Watzl-Power and Domestic Water-Supply“, 1914 г.
12. Newell and Murphy. „Principles of Irrigation Engineering“, 1913 г.
13. Liegler. „Der Talsperrenbau“ 1911 г.
14. Zink. „Der Teichbau, 1911 г.
15. Bligh. „The practical design of Irrigation Works“, 1912 г.
16. Flamant. „Hydraulique“, 1900 г.
17. Forchheimer. „Hydraulik“, 1914 г.
18. De Mas. „Canaux“, 1904 г.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА.

1. Zeitschrift des Vereins deutsch. z. Ingenieure.
2. Журнал Физико-Химического Общества.