

Е. Замарин

**Движение грунтовых вод под
гидротехническими сооружениями**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 528
ББК 38.2
Е11

Е11 **Е. Замарин**
Движение грунтовых вод под гидротехническими сооружениями / Е. Замарин – М.: Книга по Требованию, 2024. – 110 с.

ISBN 978-5-458-59886-6

ISBN 978-5-458-59886-6

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ЧАСТЬ I.

Несвободный поток.

Глава I.

Постановка опытных исследований.

п. 1. Последовательность исследований. В настоящее время считают, что движение грунтовых вод совершается с потенциалом давлений (и, следовательно, скоростей), т.-е. подчиняется уравнению Лапласа

$$\nabla^2 u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

Таким образом, для расчета движения грунтовых вод, т.-е. для выявления полной картины движения (скоростей, давлений, расходов), вполне будет достаточным решение этого уравнения для заданных значений потенциальной функции на контуре, ограничивающем область потока.

Однако, непосредственное применение теории функций к решению уравнения (1) приводит к сложным математическим операциям с функциями Фурье, Бесселя и Лежандра, вследствие чего способ прямого решения задачи о потоке грунтовых вод вряд ли можно рекомендовать, за очень редкими исключениями, для обычного применения в практике.

Другое, более изящное и простое, решение поставленной задачи (т.-е. отыскание картины движения) может быть получено применением метода конформных изображений; но и этот способ имеет слабые стороны—он еще мало «привился»¹; кроме того, для сложных очертаний контуров области потока нередко он приводит или к неберущимся вообще, или к берущимся только после громоздких операций (часто разложением в ряды) интегралам.

В то же время для проверки теории движения необходимо знать теоретическое решение, иначе нечего будет и поверять, не с чем будет сравнивать данные опытов.

Трудность, а часто и невозможность интегрирования дифференциальных уравнений движения (или интегрирования изображающих функций конформных преобразований), заставляет изыскивать способы механического интегрирования указанных уравнений.

Таким образом, постановка опытных исследований в лаборатории Оп.-Исследовательского Института Водного Хоз. по отделу гидравлики подземного потока наметилась в следующей последовательности:

1. Изыскание механического или полумеханического способа интегрирования дифференциальных уравнений движения.
2. Опробирование такого приема интегрирования уравнений путем постановки ряда вспомогательных опытов.
3. Сопоставление данных опытов с подземным потоком с теоретическим решением.
4. Выводы из таких сопоставлений.

¹ В Hütte, изд. 1929 г., уже помещены элементарные сведения о конформном изображении и таблицы эллиптических интегралов.

п. 2. Приемы исследований. По первому пункту так составленной программы работ можно наметить следующие возможные приемы получения решений уравнений движения или интегралов изображающих функций¹.

1. Исследование движения воды в грунтовых лотках с помещенными в них моделями сооружений.

2. Исследование распространения тепла в изотропных пластинках (термодинамические модели).

3. Исследование распределения электрического потенциала в однородных проводниках (электродинамические модели).

4. Исследование распределения магнетизма по поверхности магнитного поля (магнитно-динамические модели).

5. Непосредственное наблюдение струйного движения воды на моделях сооружений.

6. Получение решений уравнений на механических приборах—интеграторах.

Остановимся несколько подробнее, чем простое перечисление, на указанных приемах.

Какие могут быть предъявлены требования к перечисленным выше (и иным) приемам изучения подземного потока? Очевидно, каждый из приемов должен дать полную картину движения подземного потока, т.-е. дать так называемую сетку движения, составленную из траекторий элементарных струек и линий, им перпендикулярных—линий равных давлений (эквипотенциальных). Первые пять приемов не дают одновременно и линии течений (траекторий) и линии равных давлений; поэтому к ним предъявляется дополнительное требование—именно требование возможной обратимости явления. Под последним понятием мы подразумеваем следующее: пусть мы имеем следующую опытную установку в лотке, показанную на рис. 1, здесь вода, вступая в грунт че-

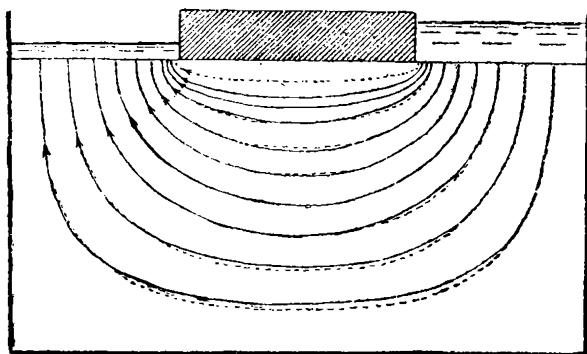


Рис. 1.

рез дно верхнего бьефа, выходит из грунта через дно нижнего бьефа; в такой установке мы можем, применяя окрашивание, получить траектории струек (линии течения, линии токов); однако, линий равных давлений окрашиванием или каким-либо другим способом (кроме пьезометрического) мы не сумеем получить. Для этого мы должны «обратить явление», т.-е. так перемонтировать установку,

чтобы сделать непроницаемыми для воды те части первой установки, которые ранее были доступны для воды (дно верхнего и нижнего бьефов), и обратно—вода теперь будет вступать через контур флютбета и выходить через боковые стенки и дно лотка.

Окрашенные струйки такой (второй) установки для нее будут линиями течения, для первой же установки они явятся линиями равных давлений.

Первый прием наиболее близок с физической стороны к изучаемому явлению; прием этот, по сравнению с другими, приобретает значения стандарта, модуля, с которым должны сравниваться данные по другим приемам, и все вместе сравниваться с данными натуры.

¹ Перечисление приемов не исчерпывающее; в нем опущены пока способы изучения подземного потока радиоволнами и др.

Однако, длительность проведения каждого опыта по первому способу заставляет несколько ограничивать его применение; кроме того, этим способом затруднено получение траекторий струек движения воды (подробнее см. ниже главу III п. 1); другим недостатком его является трудность, а подчас и невозможность монтировки обратимого явления движения воды; прием этот наиболее употребителен в гидравлике.

Мы указывали ранее на идентичность исходного уравнения (1) и для установившегося движения грунтовых вод, и для стационарного распределения температур¹, а равно для стационарного распределения электрического потенциала и магнитных масс.

Второй способ, основанный на указанной аналогии, заключается в следующем: на металлической пластинке вырезывается контур флютбета; на той части пластинки, которая соответствует дну верхнего бьефа, равномерно поддерживается постоянная температура t_1 и t_2 — для дна нижнего бьефа; края и поверхности пластинки помещаются в изолятор, сквозь который в тело пластинки пропускаются чувствительные термометры.

Очевидно, показания термометров будут соответствовать потенциальной функции давлений подземного потока.

Рассматриваемый прием требует весьма тонкой аппаратуры и специфических условий при его проведении — чувствительные термометры, постоянство и равномерность распределения температур входного и выходного участков пластинки; тщательность изоляции для остальных участков ее и др.; к недостаткам относится также и не наглядность происходящего процесса установления температур; изучаемое явление данным приемом может быть обратимо. Сказанное относится к условиям несвободного потока; для изучения свободного потока прием этот практически непригоден.

Третий прием весьма схож с предыдущим, разница заключается только в том, что на входном и выходном участках пластинки поддерживаются не постоянные температуры, а постоянные потенциалы.

Очевидно, здесь направление электрических токов по пластинке аналогично с направлением струек движения воды, а линии равных напряжений (потенциала) совпадают с линиями равных давлений подземного потока. При производстве опытов отмечаются точки равного потенциала (особым указателем); обращая явление, получаем для этого случая линии равного потенциала, являющимися линиями течений для прямой (не обращенной) установки.

Третий прием требует несколько более простой аппаратуры, чем предыдущий, но все же еще достаточно сложной; монтировка его — тщательная и кропотливая. К недостаткам его, как и предыдущего, относится не наглядность происходящего процесса распределения потенциалов. Впервые этот прием применялся при исследованиях гидравлических вопросов в русловых условиях (Германия). Применение его в условиях подземного потока подробно описано проф. Н. Н. Павловским в его труде «Теория движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями».

Рассмотренный прием, как и следующий, применим к изучению несвободного («напорного») потока; для условий свободного потока приемы эти практически мало пригодны.

Четвертый прием подобен предыдущему; на входных и выходных частях пластинки помещаются равномерно распределенные магнитные массы разного знака (или, что то же самое, пластинка является магнитом); на пластинке помещаются или небольшие магниты, могущие свободно вращаться, или пластинка покрывается железными опилками; при сообщении пластинке легких и частых ударов магнитами (или опилки) устанавливаются по направлению линий течений. Этот прием обратим и

¹ «Расчет движения грунтовых вод».

нагляден, но несколько сложен в монтажке (особенно в части равномерности распределения магнитных масс, однородности элементарных магнитов), часто применяется в физике.

Пятым приемом непосредственно наблюдается струйное движение в модельных установках; для этого модель сооружения помещается между двумя параллельными пластинками, между которыми пропускается окрашенная вода; зарисовкой траекторий струй (на рисунок, синьку или фото) получаем линии течения (см. рис. 2 с траекториями струй

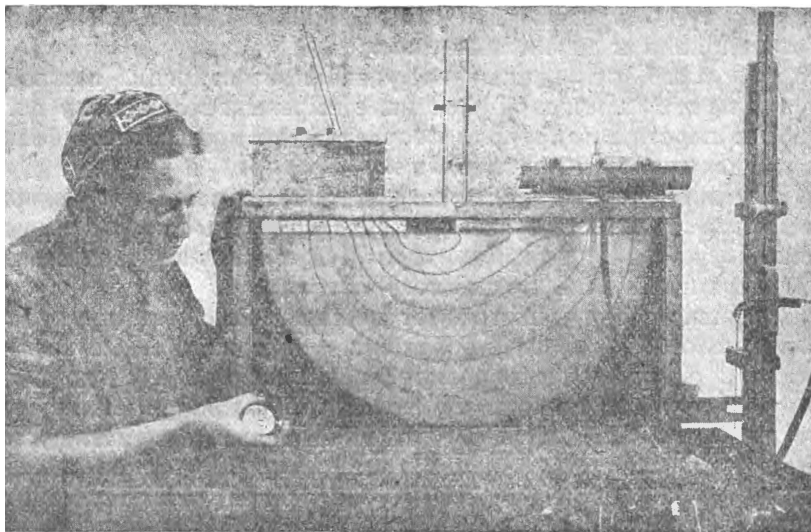


Рис. 2.

под плоским флютбетом с отверстием); обращая явление, можно получить семейство линий равных давлений,—это и дает полное решение задачи (т.-е. сетку движения).

Этот прием наиболее простой по аппаратуре, несколько сложен в монтажке, легко обратим при наличии нужных материалов, нагляден и быстр в работе, легко конструируется в универсальный прибор для изучения и напорного, и свободного потока. Идея прибора имела применения в гидравлике (надземного потока) и раньше; к изучению подземного потока применяется впервые.

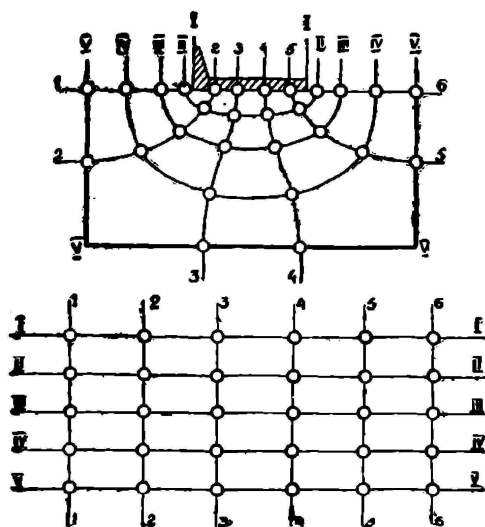


Рис. 3.

Шестой прием, основанный на применении металлических (или иных) пружин, сразу дает всю сетку движения; конструкция прибора такова: составляется прямоугольная сетка из гибких упругих пластинок или проволочек (стальных, из китового уса и т. п.); пластинки I—II—III—IV—V располагаются (см. рис. 3) под пластинками 1—6 (или наоборот), в узлах пересечения такой сетки ставятся шариковые (или цилиндрические) подшипники, которые для любых положений пластинок, во-первых, сохраняют ортогональность пересечения верхних и нижних пластинок, во-вторых, дают возможность каждой пластинке скользить через подшипник и,

в третьих, сами подшипники свободно могут перемещаться по доске стола (стеклянной или металлической шлифованной).

Для получения сетки движения, например, под флютбетом (по рис. 1) поступают таким образом: пластинка I—I ставится вдоль подошвы флютбета, пластинка V—V—вдоль контура лотка, обе они, очевидно, изображают линии течения вдоль подошвы флютбета и вдоль контура лотка; пластинка 1—1 ставится вдоль воображаемого дна верхнего бьефа, 6—6—вдоль дна нижнего бьефа; все эти операции проделываются с сеткой рис. 3-б в целом, тогда на рис. 3-а остальные пластинки II—IV и 2—4 сами размещаются так, что дадут нам искомую сетку движения. Прием этот очень заманчив по полноте и простоте решения, но требует хорошего технического оборудования изготовляющих его мастерских; прием этот отчасти аналогичен тому, который применяется в теории упругости для нахождения упругой линии жестких систем при расчете арочных и др. систем мостов; идею прибора можно применить и для расчета сложных жестких конструкций (железо-бетонные и металлические каркасы зданий и т. п.).

Все описанные приемы имеют в виду, главным образом, установившееся течение; для изучения неустановившегося движения приемы 3, 4 и 6 неприменимы; мало применим 2-й прием (при покрытии пластинки легко плавким составом); удобнее всего изучение неустановившегося движения вести параллельно 1-ым и 5-ым приемами.

Глава II.

Опыты с струйным потоком.

п. 1. Описание опытного прибора. Описанные ниже опыты со струйным потоком проведены были на первой рабочей модели прибора (рис. 4); первые качественные наблюдения были сделаны в начале 1928 г.

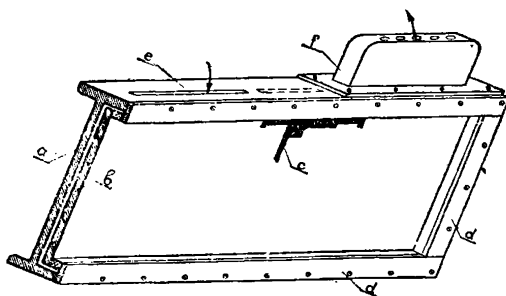


Рис. 4.

на временных приборах (стеклянном и деревянном). Модель № 1 представляет собой медную пластинку¹ «а» размерами 650×350 мм. (кругло) двутаврового сечения, точно обработанную под плоскость. На пластинку накладывается пришлифованное стекло (b), между которым и пластинкой устанавливается модель флютбета с (из резинового полотна).

Щель между стеклом и пластинкой делается постоянной ширины, после чего стекло закрепляется железными зажимными планками d на резиновых прокладках. В полочках пластинки делаются прорезы e для впуска (или выпуска) воды, над которыми укрепляются регулирующие поступление или удаление воды бачки f, от бачков идут трубки: 1) к пьезометрам для замера разности горизонтов воды в бьефах прибора, 2) к питающему водопроводу, 3) к сбросному лотку; через верх бачков опускаются металлические палочки с краской на дно верхнего бьефа.

Сам опыт состоит в следующем: смонтировав прибор в заданных условиях, устанавливают постоянную разность горизонтов в бачках, пускают краску и замеряют расходы воды; получающиеся под стеклом отчетливые линии течения или снимают на восковку, накладываемую на стекло или на фотопластинку.

В действительности не всегда удастся так просто выполнить опыт; главное затруднение состоит в получении одинаковой ширины щели; не всегда можно быть уверенным в точности обработки медной пластинки под плоскость; тем большие сомнения вызывает «плоскость» стекла. Однако, этот недостаток может быть если не полностью, то в очень значительной степени ослаблен двумя независимыми приемами.

Первый прием заключается в придании щели большой ширины (1,5—3 мм.), тогда местные неровности ее будут иметь небольшое значение.

Но при этом возникает другая трудность, именно—при широких щелях скорости движения получают большие, и красочные траектории теряют часть своей отчетливости, а в зоне близ флютбета, где скорости легко могут достичь и предела Рейнольдса, могут быть смыты. Поэтому при широких щелях необходимо работать на очень малых напорах (доли мм.), что заставляет в измерительные приборы включать дифференциальные (двухжидкостные) манометры, что, конечно, осложняет аппаратуру.

Второй прием заключается в покрытии медной пластинки слоем легко плавкого и легко шлифуемого вещества (парафин, воск, топленое,

¹ Сконструирована совместно с инж. И. С. Пехота

сливочное масло и др.), поверхность которого точно шлифуется под поверхность (даже и не плоскую) стекла. При этом представляется возможность работать, вследствие повышенных сопротивлений движению, на очень больших напорах (20 и более мм.).

Оба приема применялись в работах Ср.-Аз. Оп.-Иссл. Ин-та Вод. Хоз., при чем преимущество явно принадлежит второму приему, несмотря на некоторую медленность монтажа. Вследствие этого рабочая модель струйного прибора № 2 изготовлена уже без медной пластинки, а только с медной рамкой, к которой прикрепляется парафиновая или другая пластинка (например, стеклянная); остальные части без существенных перемен. В работах на первой модели прибора применялись ширины щели от 0,2 мм. и выше (произвольно).

Для обратимости явления вырезы в стекле контура флютбета делать затруднительно; полезно в таких случаях стекло заменять толстым целлулоидом.

п. 2. Опыт с плоским флютбетом. Теоретическое решение вопроса о движении грунтовой воды мы получаем, применяя конформное изображение модели движения на данную опытную (или действительную) установку.

Напомним кратко процесс преобразования¹: создадим (хотя бы мысленно) себе такую модель движения, в которой все элементы движения нам известны (скорости, расходы и т. д.), т. е. такую, для которой легко может быть построена сетка движения; такой наиболее простой моделью может служить движение воды через грунт, помещенный в призматическую трубку², по концам которой поддерживаются постоянные горизонты воды (что может быть осуществлено, когда трубка эта соединяет два водоема, как это показано

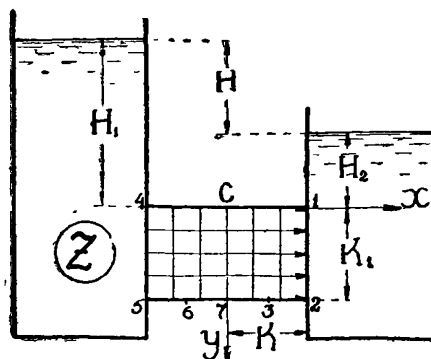


Рис. 5.

на рис. 5). Сетка движения для трубки представится линиями течения (горизонтали) и линиями равных давлений — вертикали. Непосредственное преобразование выбранной модели на эскиз опытной установки очень сложно. В таком случае поступают следующим образом: модель изображают на полуплоскости ζ (рис. 6); на ту же полуплоскость изображают и опытную установку (рис. 6) так, чтобы изображения на этой полуплоскости и контура модели и контура опытной установки совпали (на рис. 5 и 6 одинаковыми цифрами намечены соответствующие друг другу точки).

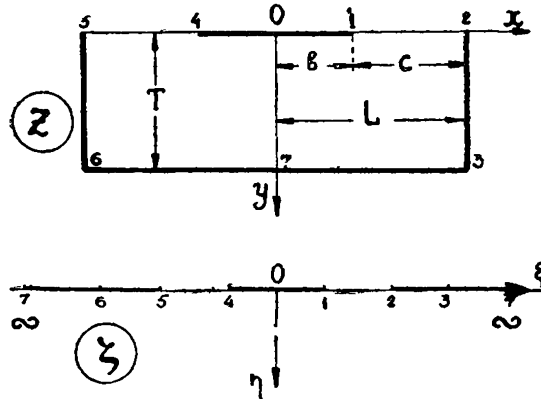


Рис. 6.

По теореме Шварца³ можно установить связь между координатами полуплоскости ζ и координатами опытной установки z .

$$z = A \int_0^{\zeta} \frac{\alpha_1 - 1}{(\zeta - \zeta_1)^1} \frac{\alpha_2 - 1}{(\zeta - \zeta_2)^2} \dots \frac{\alpha_n - 1}{(\zeta - \zeta_n)^n} d\zeta + B \quad (2)$$

¹ Подробнее см. в «Расчете движения грунтовых вод».

² Трубка может быть и без грунта.

³ Опускаем здесь основные теоремы по конформным преобразованиям (Римана, Коши), как относящиеся собственно к математике.

Здесь ζ_1 величина координаты точки на области ζ , соответствующей точке z_1 и т. д.; α_1 — внутренний угол контура в точке z_1 и т. д.

A и B — произвольные интегрированные. Так как размеры опытной установки известны, то из уравнения (2) найдутся частные значения $\zeta_1, \dots, \zeta_6$, A и B , а потом, написав подобное уравнение для связи координат модели и полуплоскости, найдутся размеры и модели (вообще говоря — произвольные).

По полученным связям $z = f(\zeta)$ и $Z = F(\zeta)$, определяя непосредственно $Z = \varphi(z)$, или пользуясь параметрической связью Z с z , переносят сетку движения с модели на опытную установку; получив для последней сетку движения, получаем и теоретическое решение вопроса.

Интегрирование уравнения (2) для рассматриваемого случая дает следующие связи¹

$$\zeta = k \operatorname{Sn}(Z, k) \text{ и } \zeta = \operatorname{Sn}(z, \lambda) \quad (3)$$

что в развернутом виде дает²

$$\xi = k \frac{\operatorname{Sn} X \operatorname{dn} Y_1}{\operatorname{Cn}^2 Y_1 + k^2 \operatorname{Sn}^2 X \operatorname{Sn}^2 Y_1} = \frac{\operatorname{Sn} x \operatorname{dn} y_1}{\operatorname{Cn}^2 y_1 + \lambda^2 \operatorname{Sn}^2 x \operatorname{Sn}^2 y_1} \quad (4)$$

$$\eta = k \frac{\operatorname{Sn} Y_1 \operatorname{Cn} Y_1 \operatorname{dn} X \operatorname{Cn} X}{\operatorname{Cn}^2 Y_1 + k^2 \operatorname{Sn}^2 X \operatorname{Sn}^2 Y_1} = \frac{\operatorname{Sn} y_1 \operatorname{Cn} y_1 \operatorname{dn} x \operatorname{Cn} x}{\operatorname{Cn}^2 y_1 + \lambda^2 \operatorname{Sn}^2 x \operatorname{Sn}^2 y_1}$$

Здесь сокращенно обозначено: эллиптические функции $\operatorname{Sn} X$ и др. для прямого модуля k ; $\operatorname{Sn} Y_1$ и др. для дополнительного модуля k_1 ; $\operatorname{Sn} x$ и др. для прямого модуля λ ; $\operatorname{Sn} y_1$ и др. дополнительного модуля λ_1 .

Модуль λ находится (по таблицам Янке и Эмде) из соотношения полных эллиптических интегралов I рода

$$\Lambda : \Lambda_1 = L : T \quad (5)$$

а модуль k из зависимости

$$k = \operatorname{Sn}(\beta, \lambda)$$

где

$$\beta = \Lambda : L \quad (6)$$

Несколько сложные выражения (4) для отдельных частей флютбета упрощаются.

Распределение приведенных давлений³ в модели равно

$$p = \frac{K - X}{2K} \quad (7)$$

где K — полудлина модели (= полному эллиптическому интегралу I рода для модуля k). Придавая абсциссам X значения $0; \pm 0,1 K; \pm 0,2 K; \dots \pm K$, получим величины приведенных давлений в этих точках.

Для переноса этих точек на эскиз опытной установки уравнения (4) дают следующие зависимости:

для флютбета

$$k \operatorname{Sn} X = \operatorname{Sn} x \quad (8)$$

для дна лотка

$$\lambda \operatorname{Sn} x = \operatorname{Sn} X \quad (9)$$

для бортов лотка

$$\operatorname{Sn} X = \operatorname{dn} y_1 \quad (10)$$

Приведенный расход модели равен

$$q = K_1 : 2K \quad (11)$$

где K_1 — полуширине модели (= полному эллиптическому интегралу I рода для дополнительного модуля K_1).

Задавая значения $Y = 0; 0,1 K_1; 0,2 K_1; \dots K_1$, можем получить на модели линии течения (горизонталы), построенные через равные интервалы расхода (например, через $0,1 q$).

¹ Проф. Н. Н. Павловский «Теория движения грунтовых вод».

² В обозначениях Гудермана.

³ Приведенные условия при коэффициенте фильтрации $1, H_2 = 0, H_1 =$

Для переноса точек $У$ на эскиз опытной установки из уравнения (4) имеем следующие зависимости:
для дна бьефа

$$\operatorname{dn} Y_1 \operatorname{Sn} x = k \quad (12)$$

для оси симметрии

$$\operatorname{tn} y_1 = \operatorname{kt} n Y_1 \quad (13)$$

При задании внутренних точек модели нахождение соответствующих им внутренних точек опытной установки требует совместного решения уравнения (4); приемы, выработанные нами для такого решения их, как относящиеся скорее к математике, здесь не приводятся; дается лишь результат такого решения для опытной установки по рис. 6.

Давление по флютбету.

Таблица 1.

$\rho\%$	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
х мм.	19,6	38,8	57,0	74,0	88,6	101,2	111,1	118,8	123,0	125,0

Давление по дну и бортам лотка.

Таблица 2.

$\rho\%$	45	40	35	30	27,4	27,4	25	20	15	10	5	$\rho\%$
х мм.	41,9	86,2	137,2	206,0	300,0	300,0	211,0	145,0	100,7	63,7	31,0	у мм.

Расходы через дно бьефа.

Таблица 3.

Доли q	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
х мм.	126,6	131,6	140,0	151,8	168,0	187,2	210,0	238,2	268,0	300,0

Расходы через ось симметрии.

Таблица 4.

Доли q	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
у мм.	20,8	43,2	64,5	88,0	115,4	145,2	178,8	216,2	255,5	300,0

Внутренние точки.

Таблица 5

$X : K$	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7
$У K_1$	0,8	0,3	0,5	0,7	0,9	0,7	0,9
х мм.	116,0	101,7	121,3	158,8	224,0	194,0	257,6
у мм.	129,0	44,8	81,2	124,0	185,0	74,8	100,6

По полученным подсчетами точкам можно построить сетку движения для опытной установки; на рис. 1 построены (пунктиром) теоретические линии течения и там же показаны наблюдаемые в приборе красочные траектории струек (сплошные) для следующих размеров установки: $b = 125$ мм., $T = 300$ мм.; $L = 300$ мм., ширине щели δ от 0,8 до 1,5 мм. и изменений напора $H = H_1 - H_2$ от 1 до 22 мм. Результаты опыта кратко могут быть сформулированы так.

1. Зависимость расхода Q от напоров H получилась линейной, т.е. совпадающей с теорией.

2. Зависимость расхода от напора при различных величинах щели остается линейной, хотя связь Q с H меняет параметры, что и должно быть согласно теории.

3. Линии течения устойчивы и постоянны при разных напорах, т.е. не зависят от величины напоров, что также совпадает с теорией.

4. Линии течения устойчивы и постоянны при различных величинах щели, т.е. не зависят от коэффициента фильтрации грунта, что опять дает совпадение с теорией.

5. Наблюдаемые линии течения весьма близки к теоретическим; местные отклонения объясняются неполной смонтированностью прибора.

п. 3. Опыт с центральным одношпунтовым флютбетом. Схема конформных преобразований для этого случая близка к тем, которые были для предыдущего опыта: чертеж опытной установки (рис. 7-а) изображается на полуплоскости ζ (рис. 7-б); на той же полуплоскости изображается модель движения (рис. 7-с) до совмещения там ее изображения с изображением опытной установки.

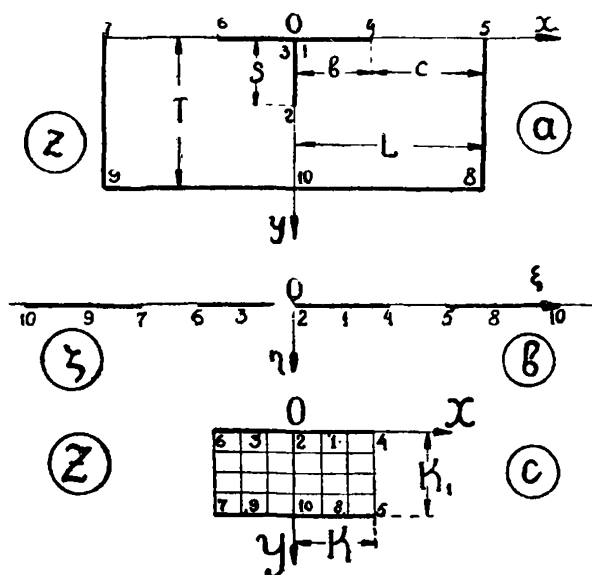


Рис. 7.

Получаемая при этом связь координат (x, y) опытной установки с координатами (X, Y) модели движения несколько сложнее, чем в предыдущем опыте, вследствие наличия шпунта, принципиально, впрочем, ничем от нее не отличаясь. Поэтому не задерживая внимания, в сущности, на математических выкладках, приведем только результаты подсчетов сетки движения для следующих размеров опытной установки: $b = 125$ мм.; $s = 75$ мм.; $T = 195$ мм.; $L = 300$ мм.

Ниже приводится таблица приведенных координат сетки движения для опытной установки; для пе-

ревода их в абсолютные размеры (мм.) необходимо табличные значения для x и y умножить на 120.

По полученным координатам построены теоретические линии течения—пунктирные на рис. 8 (с целью не усложнять чертежа, линии равных давлений на рисунке не приведены). На том же рисунке нанесены наблюдаемые траектории окрашенных струек—сплошные линии, для толщины щели $\delta = 0,7$ мм.

Таблица приведенных координат сетки давлений.

Таблица 6.

X K	0		0,1		0,2		0,3		0,4	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	0	0,62	0	0,61	0	0,52	0	0,35	0,26	0
0,1	0	0,64	—	—	0,11	0,54	0,34	0,24	—	—
0,2	0	0,68	—	—	—	—	—	—	—	—
0,3	0	0,75	—	—	0,23	0,68	0,50	0,53	—	—
0,4	0	0,84	—	—	—	—	—	—	—	—
0,5	0	0,95	—	—	—	—	0,62	0,79	—	—
0,6	0	1,07	—	—	—	—	—	—	—	—
0,7	0	1,19	—	—	—	—	0,74	1,06	—	—
0,8	0	1,33	—	—	—	—	—	—	—	—
0,9	0	1,48	—	—	—	—	0,81	1,43	—	—
1,0	0	1,63	0,19	1,63	0,38	1,63	0,59	1,63	0,82	1,63