ТРУДЫ
ЗАКАВКАЗСКОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА ИРРИГАЦИИ
PROCEEDINGS
of the Middle Asia Scientific Research Institute of Irrigation
Issue 11 Выпуск 11

626
B-19

Инж. П. И. ВАСИН

ПОТЕРИ В КАНАЛАХ И ФОРМУЛЫ ИХ УЧЕТА

LOSSES IN CHANNELS AND FORMULAE FOR THEIR CALCULATING

by P. I. VASSIN

САОГИЗ
1932
МОСКВА ТАШКЕНТ

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Введение 3

§ 1. Применяемый метод определения потерь 5

§ 2. Анализ уравнения $Q_H - Q_B \left(1 - \frac{\sigma}{100}\right)^l$ 7

§ 3 Применяемый метод определения проницаемости грунтов 10

§ 4. Анализ формулы проф. А. Н. Костякова 11

§ 5. Анализ формулы инж. Морица 12

§ 6. Предлагаемый метод определения потерь 14

§ 7. Предлагаемый метод определения проницаемости грунтов 17

§ 8. Результаты работ 18

626 | Васил. П.И.
13-19 | потери в
10179 каналах и
формула их
учета
82 21/II-39 год
8/VI-57
72

Редактор А. Алимов
Техредактор Эм. Балканский

Сдано в производство 26-IX-33
Подписано к печати 8-II-33

Уполит 302 а ОГИЗ Х 303-НТЗ

Типо-литография № 1 Узпрофиздат[…]

ТРУДЫ
Среднеазиатского научно-исследовательского института ирригации
PROCEEDINGS
of the Middle Asia Scientific Research Institute of Irrigation
Issue 11 Выпуск 11

626
B-19

Инж. П. И. ВАСИН

626.1

ПОТЕРИ В КАНАЛАХ И ФОРМУЛЫ ИХ УЧЕТА

10179

LOSSES IN CHANNELS AND FORMULAE FOR THEIR CALCULATING

by P. I. VASSIN

БИБЛИОТЕКА
Ср.-Аз. Научно-Исслед.
Ирригационный
(САНИИРИ)
Ташкент, Дурмонская 22.

Объединение Государственных Издательств
Среднеазиатское Отделение
МОСКВА — 1933 — ТАШКЕНТ

Введение

Применяемые проектирующими организациями нормы по потерям в ирригационных каналах и проницаемости грунтов в них требуют весьма большой четкости и ясности в смысле их назначения, так как недоучет разного рода коэфициентов при гидравлических расчетах каналов в сильной степени влияет на количество орошаемых земель, могущих быть использованными под те и другие культуры.

Общие темпы ирригационных работ с наименьшей затратой труда и времени ставит научно-исследовательскую работу в такое же положение и требуют в наикратчайший срок ответов на вопросы, поставленные проектирующими и производственными организациями.

Если в период организации ОИИВХ, теперь САНИИРИ, на реках и каналах Средней Азии было проведено изучение потерь на 15 участках с числом отдельных наблюдений на них 171, что в среднем за год составляет

	участков	5,	отдельных наблюдений	57
то в 1929 г.	„	4,	„ „	52
в 1930 г.	„	1.	„ „	11
и в 1931 г.	„	29,	„ „	148.

Применяемые до сих пор в САНИИРИ методы подсчета потерь и проницаемости грунтов велись по громоздким и сложным формулам, требующим громадной затраты времени у вычислительского персонала.

В силу этого нами произведены анализы методики подсчетов по затронутому вопросу и предлагаются новые методы подсчета потерь и проницаемости грунтов в каналах по упрощенным формулам, с наименьшей затратой труда техперсонала на вычисления и с получением результатов, не теряющих ценности.

Необходимо отметить, что предлагаемый метод, несмотря на громадное уменьшение вычислительского аппарата в 1931 г. и начале 1932 г., позволил довести предварительную обработку материалов 1931 г. исследований до конечных результатов, к сожалению, не помещенных здесь из-за неокончательного их оформления.

При составлении настоящего труда я воспользовался следующей литературой:

1. А. Н. Костяков—„Основы мелиорации".
2. С. П. Трембачев—„Орошение и осушение".
3. В. Д. Журин—„Элементарная практическая гидравлика".
4. Ср.-Аз. ОИИВХ—„Инструкции для производства полевых раб.". Изд. 1926 г.
5. Ср.-Аз. ОИИВХ—„Инструкции по определению потерь воды общих, испарением и фильтрацией, а также и проницаемости грунтов." (Машинопись.)

Автор.

§ 1. Применяемый метод определения потерь

1. Полевая работа по учету потерь в ирригационных каналах в основном сводится к фиксированию расхода воды в начале исследуемого участка и в момент прихода его в конец—в конце участка. Кроме этого, ведутся наблюдения за горизонтами воды, грунтовыми водами, производятся нивелировки профилей и пр.

В результате полевых наблюдений получаем ряд секундных расходов в начале и конце исследуемого участка, разность которых даст нам абсолютную общую потерю кубических метров в секунду для каждого отдельного наблюдения,

т. е. $$d = Q_{в} - Q_{н} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1),$$

где d — абсолютная потеря на участке м³/сек;

$Q_{в}$ — расход воды в м³/сек. в конце участка;

$Q_{н}$ — расход воды в м³/сек. в конце участка.

При наличии на исследуемом участке выпусков и сбросов, или их обоих вместе, полевая работа, помимо фиксирования расходов воды в начале и конце участка, включает фиксирование расходов по всем выпускам и сбросам, а также и по исследуемому каналу перед ними.

Так как потеря в каналах зависит в сильной степени от расхода воды, то при наличии на исследуемом участке выпусков и сбросов учет потерь производится отдельными участками на общей длине исследуемого канала; при этом границами промежуточных участков будут служить места выпусков и сбросов, меняющие расходы воды в канале.

Допустим, что мы имеем длину исследуемого канала l км, при чем на этой длине имеется один сброс и один выпуск. Схема расположения представлена на рис. 1.

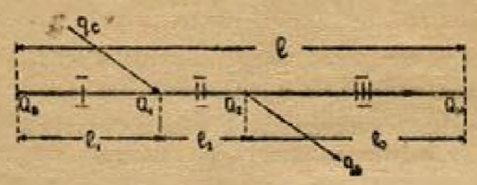

Рис. 1

Для приведенной схемы будем иметь участки I, II и III, расходы в начале и конце которых представятся следующими уравнениями:

На I участке:

В начале $Q_{в_1} = Q_в$ }
В конце $Q_{н_1} = Q_1$ } непосредственным измерением . . . . . (2)

На II участке:

В начале $Q_{в_2} = Q_1 + q_c$

В конце $Q_{н_2} = Q_2$ — непосредственным измерением . . . . . (2′)

На III участке:

В начале $Q_{в_3} = Q_2 - q_в$

В конце $Q_{н_3} = Q_н$ — непосредственным измерением . . . . . (2″)

где $Q_в$ — расход воды м³/сек. в начале исследуемого участка;

Q_1 — „ „ „ перед сбросом;

q_c — „ „ „ сброса;

Q_2 — „ „ „ перед выпуском;

$q_в$ — „ „ „ выпуска;

$Q_н$ — „ „ „ в конце исследуемого участка.

Потеря, вычисленная для участков I, II и III, даст нам в сумме потерю на всей длине исследуемого канала.

Будем иметь:

$d_1 = Q_{в_1} - Q_{н_1}$ м³/сек. для участка I

$d_2 = Q_{в_2} - Q_{н_2}$ м³/сек. „ „ II

$d_3 = Q_{в_3} - Q_{н_3}$ м³/сек. „ „ III.

Тогда $d = d_1 + d_2 + d_3$ м³/сек., где d — общая потеря на всей длине канала в м³/сек.

В случае большого количества выпусков и сбросов измерение расходов воды по ним и в канале перед ними, а также в начале и конце общей длины исследуемого канала сплошь и рядом технически невыполнимо (потребность большого количества техперсонала и гидрометрического оборудования); при этом точность полевых работ не в состоянии отразить мнимые потери на коротких расстояниях.

Если же в этом случае отнести всю сумму расходов выпусков минус сумму расходов сбросов к средине общей длины участка (при условии равномерности расходов выпусков и сбросов), то учет потерь непосредственно для всей длины исследуемого канала, с некоторым приближением к действительным, может быть осуществлен следующим образом.

Исключая измерение расходов воды перед выпусками и сбросами на исследуемом канале, ограничиваемся измерением расходов в начале $Q_в$, в конце $Q_н$—и по выпускам и сбросам.

Для получения общей потери на всей длине участка введем, за счет расходов выпусков и сбросов, на замеренные расходы $Q_в$ и $Q_н$ поправки.

Обозначим:

Σq — сумма расходов выпусков минус сбросы м³/сек.,

d — действительная потеря на протяжении исследуемого участка м³/сек.

Так как потеря относится к расходу в голове участка, то перед нами встают два решения учета Σq, т. е. мы должны либо вычесть ее из $Q_в$, либо прибавить к $Q_н$.

Тогда потеря, отнесенная к расходу в первом случае, выразится

$$\rho = \frac{d}{Q_в - \Sigma q},$$

а во втором

$$\rho = \frac{d}{Q_р}.$$

Отсюда получаем два одинаково возможные решения.

Для того, чтобы не пренебрегать ни тем, ни другим возможным решением и дать единственный ответ, мы воспользуемся средней арифметической из чисел $Q_в - \Sigma q$ и $Q_н$; т. е. от верхнего расхода $Q_в$ вычитаем полуразность сумм расхо-

дов выпусков — $\Sigma q_в$ и суммы расходов сбросов — $\Sigma q_н$ к низшему расходу прибавляем эту полуразность, т. е.

$$\left.\begin{aligned} Q'_в &= Q_в - \frac{1}{2}(\Sigma q_в - \Sigma q_н) \\ Q'_н &= Q_н + \frac{1}{2}(\Sigma q_в - \Sigma q_н) \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Тогда абсолютная общая потеря на участке будет равна

$$d_о = Q'_в - Q'_н \text{ м}^3/\text{сек}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1')$$

а средний расход по участку выразится, как среднее арифметическое из $Q'_в$ и $Q'_н$, т. е.

$$Q_{ср.} = \frac{Q'_в + Q'_н}{2}.$$

2. По определении расходов в начале и конце каждого участка определяются общие потери на каждом участке σ в процентах на километр от расхода по верхнему створу $Q_в$ (в начале участка), при расходе по нижнему створу $Q_н$[1] (в конце участка) и длине участка l на уравнения[2]

$$Q_н = Q_в \left(1 - \frac{\sigma}{100}\right)^l \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4).$$

Для этого, логарифмируя его, получаем

$$\lg Q_н = \lg Q_в + l \cdot \lg\left(1 - \frac{\sigma}{100}\right)$$

отсюда

$$\lg\left(1 - \frac{\sigma}{100}\right) = \frac{\lg Q_н - \lg Q_в}{l} = \lg A,$$

т. е.

$$1 - \frac{\sigma}{100} = A$$

откуда

$$\sigma = (1 - A) \cdot 100$$

или

$$\sigma\,\%_о = \left(1 - \sqrt[l]{\frac{Q_н}{Q_в}}\right) \cdot 100 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5).$$

Желая получить среднюю потерю в процентах на километр для всей длины канала l при схеме расположения выпусков и сбросов, представленных на рис. 1, таковая может быть получена по следующей формуле

$$\sigma_{ср.} = \frac{\sigma_1 l_1 + \sigma_2 l_2 + \sigma_3 l_3}{l_1 + l_2 + l_3}\ \%_о$$

где σ_1, σ_2 и σ_3 — потери в процентах, определенная по уравнению (5) соответственно для участков I, II и III.

Приближенные потери в процентах на километр (при наличии выпусков и сбросов) сразу для всей длины канала получатся следующим уравнением

$$\sigma'_{ср} = \left(1 - \sqrt[l]{\frac{Q'_н}{Q'_в}}\right) \cdot 100$$

где l — общая длина исследуемого канала в километрах;

$Q'_в$ и $Q'_н$ расходы в начале и в конце его, определенные по уравнению (3)

[1] Под $Q_в$ и $Q_н$ надо подразумевать соответствующие им расходы воды в начале и конце каждого отдельного участка, вычисленных по формулам 2, 2', 2''. Показатель степени l выражает длину отдельного участка в километрах.

[2] Уравнение (4) дано инструкцией ОИИВХ „Инструкции по определению потерь воды общих, испарением и фильтрацией, а также и проницаемости грунтов". (Машинопись. Склад технических документов)

3. Абсолютные потери испарением на каждом участке в кубических метрах в секунду определяются как произведение суточной испаряемости в метрах на поверхность всего водного зеркала на исследуемом участке в квадратных метрах, уменьшенное в 86 400 раз (число секунд в сутках).

4. Абсолютные потери испарением на 1 000 000 м² поверхности водного зеркала в кубических метрах в секунду получались умножением абсолютных участковых в кубических метрах в секунду на отношение 1 000 000 к участковой поверхности водного зеркала.

5. Потери фильтрацией в процентах от расхода по верхнему створу на 1 км, где соответствующие потери испарением представляли ничтожную величину, приравнивались общим потерям в процентах на километр.

6. Абсолютные участковые потери фильтрацией в кубических метрах в секунду определялись как разность соответствующих абсолютных участковых общих потерь и потерь испарением.

7. Абсолютные потери фильтрацией в кубических метрах в секунду на 1 000 000 м² смоченного ложа получались умножением соответствующих абсолютных участковых потерь на отношение 1 000 000 к поверхности участкового смоченного ложа.

Остановимся на анализе начального уравнения (4).

§ 2. Анализ уравнения $Q_н = Q_в \left(1 - \frac{\sigma}{100}\right)^l$

Написанное равенство обладает следующими весьма важными недостатками:

1. Уравнение не дает полного исчезновения расхода от фильтрации и прочих потерь, хотя бы значение σ было и очень велико. Происходит это потому, что уравнение (5), по которому можно найти σ, является логарифмическим, следствием чего теоретически исчезновение расхода ($Q_н = 0$) мыслится только при длине участка, равной бесконечности.

2. Главный недостаток указанного уравнения заключается в том, что для любого участка, на котором было определено значение σ, всегда, как правило, σ получается постоянным (одинаковым).

Отсюда следует, что относительные потери (отношение потерянного расхода к расходу в начале) также будут постоянными, т. е. на каждом километре будет наблюдаться одна и та же доля потерь от величины расхода в начале этого километра, что и изображено на рис. 2 в виде кривой.

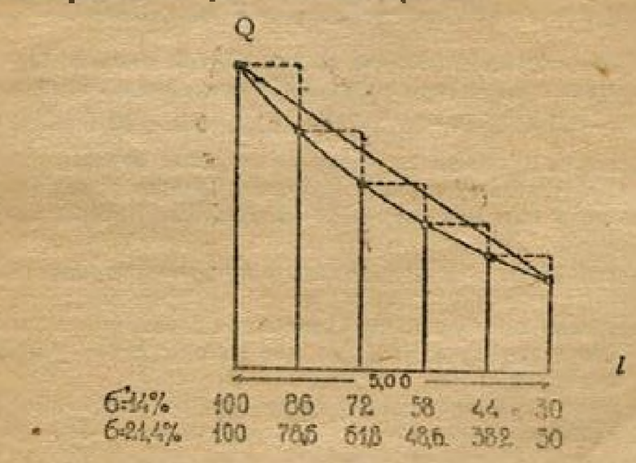

Рис. 2

Пусть мы имеем:

σ — потеря на километр в процентах;
$Q_в$ и $Q_н$ — расходы в начале и конце участка;
l — длина участка в километрах.

Тогда расходы воды по длине участка выразятся

$$Q_1 = Q_в - Q_в \frac{\sigma}{100}, \text{ или}$$

$$Q_1 = Q_в \left(1 - \frac{\sigma}{100}\right) \quad \text{на 1-м километре}$$

$$Q_2 = Q_1 \left(1 - \frac{\sigma}{100}\right) \quad \text{„ 2-м „}$$

$$Q_3 = Q_2 \left(1 - \frac{\sigma}{100}\right) \quad \text{на 3-м километре}$$

. . . . . .

. . . . . .

$$Q_n = Q_{n-1} \left(1 - \frac{\sigma}{100}\right) \quad \text{„ n-м „}$$

Отсюда получаем, что

$$Q_1 = Q_в \left(1 - \frac{\sigma}{100}\right)$$

$$Q_2 = Q_в \left(1 - \frac{\sigma}{100}\right)^2$$

$$Q_3 = Q_в \left(1 - \frac{\sigma}{100}\right)^3$$

. . . . . .

. . . . . .

$$Q_н = Q_в \left(1 - \frac{\sigma}{100}\right)^l \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4).$$

То-есть, что в начале исследуемого участка, где протекает наибольший расход, абсолютная потеря будет наибольшая (как $\frac{1}{n}$ от большой величины); по мере приближения к концу участка абсолютная потеря будет уменьшаться и будет наименьшей в конце участка (как $\frac{1}{n}$ от малой величины).

Так, для случая, иллюстрируемого на рис. 2, при расходе $Q_в = 100$; $Q_н = 30$ и $l = 5{,}0$ км абсолютная потеря (при постоянной относительной — 0,214) получается на 1-м км — 21,4; 2-м — 16,8; 3-м — 13,2; 4-м — 10,4 и 5-м — 8,2.

Такое распределение потерь противоречит всем данным их распределения по каналу, так как общеизвестен факт, что чем больше канал (по расходу), тем относительная потеря в нем меньше, хотя абсолютные потери могут быть и значительными.

3. Самый способ определения значения σ не дает уверенности и надежности его определения.

В самом деле, если мы будем определять σ на одном и том же совершенно однородном по форме и грунту канале, но для разных длин участков его, то получим различные значения σ.

Значит, при желании использовать формулу (5) необходимо было бы для более точного ее применения находить σ на наблюденной над участками малой длины, т. е. установить явную зависимость σ от длины канала и явную от расхода.

Тогда будем иметь.

$$Q_1 = Q_в \left(1 - \frac{\sigma_1}{100}\right) \quad \text{на 1-м километре}$$

$$Q_2 = Q_1 \left(1 - \frac{\sigma_2}{100}\right) \quad \text{„ 2-м „}$$

$$Q_3 = Q_2 \left(1 - \frac{\sigma_3}{100}\right) \quad \text{„ 3-м „}$$

. . . . . .

. . . . . .

$$Q_n = Q_{n-1} \left(1 - \frac{\sigma_n}{100}\right) \quad \text{„ n-м „}$$

Отсюда получаем

$$Q_н = Q_в \left(1 - \frac{\sigma_1}{100}\right)\left(1 - \frac{\sigma_2}{100}\right)\left(1 - \frac{\sigma_3}{100}\right) \ldots \left(1 - \frac{\sigma_n}{100}\right),$$

или

$$Q_н = Q_в \prod_{i=1}^{i=n} \left(1 - \frac{\sigma_i}{100}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6).$$

Полученное уравнение (6) с точным учетом переменности σ требует очень сложных вычислений, затрудняющих обработку.

Кроме этого, полевая работа потребует дополнительных наблюдений на исследуемом канале для фиксирования расходов воды в промежуточных пунктах (хотя бы в конце каждого километра).

Такое усложнение полевых наблюдений, лежащих в пределах точности определения расходов 3—5%, может повести к сугубо ложным результатам, вплоть до получения могущей и не быть инфильтрации.

Совершенно обратное распределение потерь дает линейное падение расходов (прямая линия на рис. 2).

Такое распределение указывает на постоянство абсолютной потери на каждом километре (в нашем случае оно равно 14), а так как расходы в начале участка больше, чем в конце, то относительные потери возрастают к концу участка.

Для взятого примера они выражаются на 1-м километре 0,14; 2-м—0,16; 3-м—0,19; 4-м—0,24 и 5-м—0,32.

Вывод из анализа. Линейное распределение потерь дает нам картину потерь, подобную наблюдаемой в действительности. Это обстоятельство, а также простота вычисления по формуле (17), заставляет предпочесть ее логарифмической.

§ 3. Применяемый метод определения проницаемости грунтов.

По определении σ % методом, указанным в § 1, определялись коэфициенты проницаемости грунтов K в метрах в сутки двумя путями:

1. Из формулы, данной проф. А. Н. Костяковым[1] в общем виде:

$$\sigma = \frac{1{,}15 \cdot K}{Q^{\frac{1-m}{2}} \cdot V^{\frac{1+m}{2}}} \cdot \left(\frac{\alpha + \frac{2}{1+m}\sqrt{1+\varphi^2}}{(\alpha+\varphi)^{\frac{1+m}{2}}}\right) \% \text{ на километр} \quad \ldots\ldots\ldots (7)$$

где Q — участковый расход воды в м³/сек.;
V — участковая средняя скорость в м/сек;
m — показатель степени в законе фильтрации, зависящий от градиента напора фильтрации;
φ — заложение откосов канала.

$$\alpha = \frac{b}{h}$$

где b — ширина канала по дну;
h — глубина воды в канале.

Из общего вида формулы (7) при принятых значениях

$$m = 0{,}5;\ \varphi = 0;\ \alpha = \frac{B}{H},$$

где B — средняя ширина водного зеркала;
H — „ глубина воды участка,

получали выражение для σ следующего вида:

$$\sigma = \frac{1{,}15 \cdot K}{Q^{\frac{1}{4}} \cdot V^{\frac{3}{4}}} \cdot \frac{\alpha + 1{,}33}{\alpha^{\frac{3}{4}}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

откуда

$$K = \frac{\sigma \cdot \sqrt[4]{QV^3}}{1{,}15 \cdot \frac{\alpha + 1{,}33}{\alpha^{\frac{3}{4}}}} \text{ метров в сутки} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

где значение σ по уравнению . . . . . (5)

2. Из формулы Морица:

$$\sigma = \frac{3{,}75 \cdot K_0}{\sqrt{QV}} \% \text{ на километр} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

откуда

$$K_0 = \frac{\sigma \cdot \sqrt{QV}}{3{,}75} \text{ метров в сутки} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

[1] Костяков А. Н.—„Основы мелиорации". 1927 г., стр. 178.

§ 4. Анализ формулы проф. А. Н. Костякова

1. В § 3 отмечалось, что формула (7) в общем виде для получения из нее K применялась с учетом показателя степени m, принятого по Etcheverr'у, m=0,5, при чем величина m=0,5 ничем не обосновывалась и не отмечено[1], для каких мер она дана.

2. В этой же формуле значение (α) рассматривалось как отношение средней ширины водного зеркала к средней глубине воды в канале[2], т. е. $\alpha = \frac{B}{H}$, тогда как при выводе формулы $\alpha = \frac{b}{h}$, что далеко не одно и то же (см. рис. 3) и равенства B=b и H=h могут быть только при сечениях каналов с отвесными стенками, т. е. при φ=0.

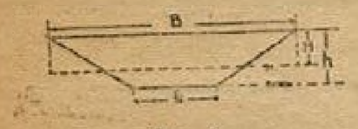

Рис. 3

Здесь надо будет отметить и то обстоятельство, что при φ>0 (обычное явление в земляных руслах ирригационных систем) мы всегда получаем: B>b, а H<h. Этим самым допускаем ошибку в одну сторону—в сторону преувеличения значения (α). Для наглядного представления о величине допускаемого искажения возьмем произвольные сечения:

I. b=5; h=1; φ=1. II. b=10; h=2; φ=1,5.

Получаем:

$$\text{I. } \frac{b}{h} = 2; \ \frac{B}{H} = 8. \quad \text{II. } \frac{b}{h} = 5; \ \frac{B}{H} = 9{,}88.$$

То есть в первом случае истинное значение (α) искажается в 4 раза, во втором примерно в 2 раза, что, бесспорно, влечет к искажению (K).

Известно и то обстоятельство, что получение в потоке истинных значений (b) и (h) представляет весьма трудную задачу, однако, введенное инструкцией быв. ОИИВХ упрощение замены их соответственно (B) и (H), легко получаемых из материалов полевых наблюдений, влечет к неточным результатам (исключая случай φ=0).

Вывод из анализа. Проницаемость грунтов из формулы А. Н. Костякова в том виде, как было выше изложено, определять не следует, в виду неточности учета действительной фильтрации в земляных каналах при φ>0, к тому же вычисления по ней слишком громоздки.

[1] Показатель степени m = 0,5 принимался на основании инструкции Ср.-Аз. ОИИВХ „Инструкции по определению потерь воды общих, испарением и фильтрацией, а также и проницаемости грунтов".

[2] На основании той же инструкции.

§ 5. Анализ формулы инж. Морица

Для учета потерь на фильтрацию инж. Мориц дает следующую формулу

$$S = 0{,}0375 \cdot K_0 \sqrt{\frac{Q}{V}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

где S — потеря фильтрацией в м³/сек. на один километр длины канала;

K_0 — опытный коэфициент, изменяющийся в зависимости от рода грунта и представляющий в метрах слой воды, просачивающийся с 1 м² смоченного периметра канала в сутки и не зависящий от глубины воды в канале;

Q — расход канала в м³/сек.

V — скорость в канале м³/сек.

Опытным путем выведен только коэфициент K_0 формула же получена инж. Морицем на основании математических рассуждений, исходя из предположения, что потеря на 1 км в секундометрах пропорциональна смоченному периметру P и коэфициенту K_0, т. е.

$$S = \frac{1\,000 \cdot P \cdot K_0}{86\,400} = 0{,}011574\, P \cdot K_0 \text{ м}^3 \text{ сек. на километр} \quad \ldots (13)$$

При этом Мориц принимает, что хотя распространение фильтрации происходит согласно заштриховки (см. рис. 4), однако, без особого ущерба для правильности подсчетов, с точностью до 10 % можно допустить равномерное по всему сечению проникание фильтрующей воды на среднюю глубину h, которую можно принять 0,7h.

Рис. 4

Выразим значение периметра через b, h и φ (обозначение см. рис. 5).

$$P = b + 2\sqrt{h^2 + \varphi^2 h^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (14).$$

Обозначим $\alpha = \frac{b}{h}$; отсюда b = α . h; подставим это в (14)

$$P = \alpha h + 2\sqrt{h^2 + \varphi^2 h^2},$$

или

$$P = h(\alpha + 2\sqrt{1 + \varphi^2}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (15).$$

Рис. 5

Выразим значение (h) через расход Q и площадь живого сечения ω.

Имеем

$$\omega = (b + \varphi h)h, \text{ но } b = \alpha h.$$

Тогда

$$\omega = (\alpha h + \varphi h)h$$

или $$\omega = h^2(\alpha + \varphi);$$

но $$\omega = \frac{Q}{V}$$

тогда $$h^2(\alpha + \varphi) = \frac{Q}{V}$$

отсюда $$h^2 = \frac{\frac{Q}{V}}{\alpha + \varphi}$$

откуда $$h = \frac{\sqrt{\frac{Q}{V}}}{\sqrt{\alpha + \varphi}}.$$

Подставим это в уравнение (15)

$$P = \frac{\sqrt{\frac{Q}{V}}}{\sqrt{\alpha + \varphi}} \cdot \left(\alpha + 2\sqrt{1+\varphi^2}\right).$$

Подставим это в уравнение (13).

Получаем $$S = 0{,}011574 \cdot K_0 \sqrt{\frac{Q}{V}} \cdot \frac{\alpha + 2\sqrt{1+\varphi^2}}{\sqrt{\alpha + \varphi}} \quad \ldots (13'),$$

где последний член $\frac{\alpha + 2\sqrt{1+\varphi^2}}{\sqrt{\alpha + \varphi}}$ есть поправка на форму канала.

Формула (13') есть общий вид формулы инж. Мориц а.

Принял $\varphi = 1{,}5$ и $\alpha = \frac{b}{h} = 4$, получаем

$$S = 0{,}011574 \cdot K_0 \cdot \sqrt{\frac{Q}{V}} \cdot \frac{4 + 2\sqrt{3{,}25}}{\sqrt{5{,}5}},$$

т.-е. $$S = 0{,}0375 \cdot K_0 \cdot \sqrt{\frac{Q}{V}} \quad \ldots (12).$$

Для определения потерь в процентах на километр формула Мориц а имеет следующий вид

$$\sigma = \frac{S}{Q} \cdot 100 = \frac{0{,}0375 \cdot K_0}{Q} \cdot \sqrt{\frac{Q}{V}} \cdot 100\%$$

или $$\sigma = \frac{3{,}75 \cdot K_0}{\sqrt{QV}} \% \quad \ldots (10),$$

где K_0, Q и V имеют те же значения, что и в формуле (12), откуда

$$K_0 = \frac{\sigma \cdot \sqrt{QV}}{3{,}75} \text{ м в сутки} \quad \ldots (11).$$

Из произведенного анализа вытекает, что значение K_0 по формуле (11) соответствует сечению канала при $\varphi = 1{,}5$ и $\alpha = \frac{b}{h} = 4$ (чему соответствует коэфициент 0,0375 в уравнении (12), т. е. уравнение (12) получено как частный случай из общего вида формулы Мориц а (уравнение 13'), не являясь обобщающим уравнением для всех сечений каналов.

Вывод из анализа. Коэфициенты проницаемости грунтов K_0 по формуле (11) определяются с некоторым приближением (за исключением возможного совпадения выше указанного сечения каналов), а, следовательно, при желании более точных подсчетов K_0 формулой (11) пользоваться не следует.

§ 6. Предлагаемый метод определения потерь

В предыдущем § 5 выяснено, что входящий в предложенную Мориц ем формулу (12) числовой коэфициент 0,0375 есть величина переменная, зависящая от сечения канала (т. е. от b; h и φ).

Обозначив коэфициент через μ, будем иметь

$$\mu = f(\alpha; \varphi),$$

где $\alpha = \frac{b}{h}$.

Тогда формула (12) примет следующий вид

$$S = \mu \cdot K_0 \sqrt{\frac{Q}{V}},$$

или $$S = \mu \cdot K_0 \sqrt{\omega} \text{ м/сек.} \quad \ldots (12')$$

где обозначения те же, что и в формуле (12).

Так как формула Мориц а имеет большое распространение среди работников по эксплоатации ирригационных систем (в силу простоты получения входящих в нее элементов), то для более точных подсчетов по ней можно пользоваться таблицей значений коэфициента $\mu = f(\alpha; \varphi)$, составленной в пределах φ от 0 до 2, α от 0,5 до 10 со значениями для φ через 0,25 и для α через 0,5 (см. табл. 1 на стр. 16).

Из таблицы заключаем, что пользование постоянным коэфициентом 0,0375 для $\varphi = 1{,}5$ и $\alpha = 10$ дает искажение до 20%, а при $\varphi = 2$ и $\alpha = 10$—до 25%, что, несомненно, имеет большое практическое значение.

Для более точного определения потерь на фильтрацию в кубических метрах в секунду на километр по формуле (12') необходимо в месте, характеризующем среднее сечение участка, измерить живое сечение потока (хотя бы простым промером рейкой), из которого и определить приближенные значения (φ) и (α)[1].

На основании полученных (φ) и (α) из таблицы 1 находится соответствующее им значение (μ), после чего определяются потери по формуле (12').

При отсутствии в таблице могущих быть иных значений как (φ), так и (α) таковые определяются интерполированием.

При исчислении потери в процентах на километр длины канала можно пользоваться следующим уравнением:

$$\sigma = \frac{\mu \cdot K_0}{\sqrt{QV}} \% \quad \ldots (10')$$

или $$\sigma = \frac{\mu \cdot K_0}{V\sqrt{\omega}} \% \quad \ldots (10'')$$

[1] Получение истинных значений (φ) и $\left(\alpha = \frac{b}{h}\right)$ представляет большие затруднения. Для практических же целей определения потерь достаточно знать значения (φ) и (α) приближенными, определив их из вписанной правильной фигуры сечения канала в измеренный профиль.

где Q — расчетный расход при определении потерь;
V — средняя скорость воды в м/сек.;
ω — площадь живого сечения.

При наличии полевых наблюдений за расходами воды в начале и в конце участка, а также наблюдений за испаряемостью, вычисления потерь могут быть произведены по нижеследующим формулам:

1. Общие потери d по абсолютной величине в кубических метрах в секунду, как разность расходов между верхним и нижним створами[1], т. е.

$$d = Q_B - Q_H \text{ м}^3/\text{сек.} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

2. Зная (d), определяют общие потери в кубических метрах в секунду на километр как частное от деления общих потерь на длину участка l в километрах

$$S' = \frac{d}{l} \text{ м}^3/\text{сек. на километр} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (16)$$

3. При желании выразить потери S′ в процентах на километр %/₀ от расхода по верхнему створу таковые могут быть исчислены по формуле

$$\sigma' = \frac{S' \cdot 100}{Q_B} \%_0 \text{ на километр} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (17)$$

где Q_B — расход по верхнему створу.

4. Потери фильтрацией, в тех случаях, где соответствующие потери испарением выражаются ничтожной величиной (менее 2% от потерь на фильтрацию), приравниваются к общим потерям. При отсутствии этого учет потерь фильтрацией и испарением производится согласно § 1, пункты 3 и 6.

5. Тогда потери фильтрацией $S_ф$ в м³/сек. на километр, аналогично предыдущему, выразятся

$$S_ф = \frac{d'}{l} \text{ м}^3/\text{сек. на километр} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (18)$$

где d′ — абсолютная потеря фильтрацией на участке в м³/сек.;
l — длина участка в километрах.

6. Эти же потери фильтрацией в процентах на километр от расхода по верхнему створу выражаются

$$\sigma_ф = \frac{S_ф \cdot 100}{Q_B} \%_0 \text{ на километр} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (19)$$

7. Абсолютные потери испарением на 1 000 000 м² поверхности водного зеркала, а также и фильтрацией на 1 000 000 м³ смоченного ложа вычисляются согласно § 1, пункты 4 и 7.

[1] При наличии на исследуемом участке выпусков и сбросов, описанных в § 1 метод разграничения исчисления потерь отдельными участками применим и здесь.

Таблица 1

Таблица значений $\mu = 0{,}011574 \dfrac{a+2\sqrt{1+\varphi}}{\sqrt{a+\varphi}}$

φ \ a	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
0	0,0409	0,0347	0,0331	0,0327	0,0329	0,0334	0,0340	0,0347	0,0355	0,0362	0,0370	0,0378	0,0386	0,0591	0,0401	0,0409	0,0417	0,0424	0,0432	0,0439
0,25	0,0342	0,0317	0,0311	0,0313	0,0318	0,0325	0,0332	0,0340	0,0348	0,0356	0,0365	0,0373	0,0381	0,0589	0,0397	0,0405	0,0413	0,0421	0,0428	0,0437
0,50	0,0317	0,0306	0,0306	0,0310	0,0316	0,0324	0,0332	0,0340	0,0349	0,0357	0,0367	0,0374	0,0382	0,0390	0,0398	0,0406	0,0414	0,0422	0,0430	0,0437
0,75	0,0310	0,0306	0,0308	0,0314	0,0321	0,0329	0,0337	0,0345	0,0353	0,0362	0,0376	0,0379	0,0387	0,0395	0,0403	0,0411	0,0418	0,0426	0,0435	0,0442
1,00	0,0314	0,0313	0,0317	0,0323	0,0330	0,0337	0,0345	0,0353	0,0362	0,0370	0,0378	0,0386	0,0394	0,0402	0,0410	0,0418	0,0424	0,0433	0,0440	0,0448
1,25	0,0324	0,0324	0,0328	0,0334	0,0341	0,0348	0,0356	0,0364	0,0372	0,0380	0,0388	0,0395	0,0403	0,0411	0,0419	0,0426	0,0434	0,0442	0,0449	0,0456
1,50	0,0336	0,0337	0,0341	0,0347	0,0353	0,0360	0,0368	0,0375	0,0383	0,0391	0,0398	0,0406	0,0414	0,0421	0,0428	0,0436	0,0443	0,0450	0,0457	0,0464
1,75	0,0350	0,0351	0,0355	0,0360	0,0366	0,0373	0,0380	0,0388	0,0395	0,0402	0,0410	0,0417	0,0424	0,0432	0,0439	0,0446	0,0454	0,0461	0,0468	0,0475
2,0	0,0364	0,0366	0,0369	0,0374	0,0380	0,0387	0,0393	0,0400	0,0407	0,0414	0,0421	0,0428	0,0436	0,0443	0,0450	0,0456	0,0463	0,0470	0,0477	0,0484

§ 7. Предлагаемый метод определения проницаемости грунтов

В § 5 мы имели уравнение (13) для учета потерь на фильтрацию, данное инж. Морицем из предположения, что потеря на 1 км в кубических метрах в секунду пропорциональна смоченному периметру P и коэфициенту $C \cdot K_0$, т. е.

$$S = \frac{1{,}000 \cdot P \cdot C}{86{,}400} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

Из этой формулы нами и предлагается определять проницаемость грунтов в метрах в сутки, т. е.

$$C = \frac{86{,}4 \cdot S_0}{P} \text{ метров в сутки} \quad \ldots\ldots\ldots (20)$$

где $S_0 = S$ — потеря фильтрацией в кубических метрах в секунду на километр, вычисляемая по уравнению (18);

P — средний участковый периметр в метрах (может быть получен как среднее арифметическое из всех замеренных на участке).

Предлагаемое уравнение для C диктуется тем соображением, что входящий в него смоченный периметр P характеризует действительное очертание ложа канала, через которое идет фактическая фильтрация, а не частные случаи применения (по Костякову—прямоугольное и по Морицу—трапецоидальное).

Кроме этого, уравнение (13) является основным уравнением определения потерь на ирригационной сети проектирующими организациями; поэтому получение значений проницаемости грунтов из него даст возможность проверить на сооруженных системах правоту применения тех или иных значений C при отдельных случаях проектирования.

Еще лучше проницаемость грунтов определять для каждого отдельного случая непосредственно в естественных условиях, на трассе будущего канала.

§ 8. Результаты работ

Для иллюстрирования полученных результатов по затронутому вопросу на каналах и реках Средней Азии приведем краткое описание места расположения отдельных участков исследования, сведя весь цифровой материал в таблицы в порядке настоящего описания.

1. Голодностепский магистральный канал в пределах 15—25 км. Участок проходит в лессовой выемке. Дно и откосы канала покрыты отложениями лесса и мелкого песка. Длина участка 9,63 км. Исследования с 2.VII по 15.VII 1926 г.

2. Голодностепский магистральный канал в пределах 29—38 км. Длина участка 9,04 м. Грунты, слагающие дно и откосы, те же, что и в предыдущем участке. Исследования с 2.VIII по 28.VIII 1926 г.

3. Чардаринский магистральный канал в пределах 30—41 км Участок канала проходит большей частью в насыпных дамбах, в полунасыпи в полувыемке. Дно и откосы лессовые. Длина участка 10,9 км. Исследования с 3.VIII по 9.IX 1927 г.

4. Канал Шават (Хорезм). Участок расположен в $^1/_2$ км. от города Ново-Ургенча, вниз по течению на длину 12,6 км. Участок канала проходит в выемке. Верхний слой откосов и дна состоит из наносов с преобладанием илистых частиц. Исследования в период с 14.VII по 31.VII 1928 г.

5. Канал Зах. Участок в пределах 8—15 км., длиной 7,0 км., в выемке с суглинистыми и конгломератовыми берегами с песчаным местами дном. Исследования с 21.VIII по 30.VIII 1927 г.

6. Канал Боз-су в пределах 3—8 км. Участок канала проходит в крупногалечниковых берегах и дне, длиною 5,0 км. Исследования с 26.VI по 27.VII 1927 г.

7. Канал Даргом. Участок в верхней части канала длиною 11,5 км. Дно сложено из мелкой и крупной гальки с примесью песка. Берега галечниковые, местами глинистые и лессовые. Исследования с 12.VI по 25.VI 1927 г.

8. Левая ветвь реки Сукулук (Фрунзенский район). Участок в пределах 2—5 км., длиною 3 км. Дно и откосы—крупная галька (до 60 см.) с песком. Исследования с 3.X по 31.X 1930 г.

9. Канал Осман (район р. Чу). Участок расположен в пределах 3—8 км., длиной 4,8 км. Дно и берега галечниковые (размер галек от 7 до 30 см.). Верхний слой берегов покрыт слоем речных отложений толщиной до 0,75 м. Исследования с 30.VIII по 14.IX 1929 г.

10. Канал Осман в пределах 8—19 км. Участок длиною 11,1 км. Дно галечниковое, берега глинистые, заросшие растительностью. Исследования с 30.VIII по 14.IX 1929 г.

11. Канал Осман, участок в пределах 3—19 км., длиною 15,9 км. Участок является суммарным из описанных выше под №№ 9 и 10.

12. Выпуск № 23 канала Осман, длиною 1,43 км. Дно галечниковое, берега глинистые, покрытые растительностью. Период наблюдений с 29.IX по 2.X 1929 г.

Таблица 2

Потери воды в каналах: общие, испарением и фильтрацией, а также проницаемость грунтов в метрах в сутки

№№ в порядке описания	Число отдельных наблюдений	Средние из отдельных наблюдений										
		Принятые расх. м³/сек		Потеря испарением		Потери фильтрацией			Общие потери		Проницаем. грунта м/сутки	
		По верхнему створу	По нижнему створу	Абсолютн. в м³/сек.	На 1 км от водного зеркала в м³/сек.	В % от расхода по верхнему створу на 1 км	Абсолютн. в м³/сек.	На 1 км от смоченного периметра в м³/сек.	В % от расхода по верхнему створу на 1 км	Абсолютн. по участку м³/сек	По Костякову К	По Мерингу K_0
1	7	61,3	59,4	0,03	0,10	0,31	1,80	5,33	0,34	1,83	0,30	0,13
2	8	62,6	60,0	0,03	0,12	0,46	2,58	9,31	0,47	2,60	0,56	0,27
3	11	1,49	1,01	0,01	0,09	3,35	0,47	4,49	3,31	0,48	0,37	0,39
4	10	72,1	70,8	—	—	0,15	1,30	2,16	0,15	1,30	0,19	0,29
5	7	15,0	14,5	—	—	—	—	—	0,51	0,50	—	—
6	9	45,3	43,8	—	—	—	—	—	0,68	1,50	—	—
7	14	21,8	20,3	—	—	0,61	1,46	2,98	0,61	1,46	0,38	0,76
8	11	0,42	0,34	—	—	6,14	0,08	10,9	6,14	0,08	2,03	1,01
9	16	1,54	1,48	0,001	0,04	0,86	0,06	2,48	0,88	0,06	0,36	0,28
10	16	0,99	0,85	0,001	0,04	1,23	0,14	3,69	1,20	0,14	0,50	0,30
11	16	1,28	1,08	0,002	0,04	1,06	0,20	3,07	1,06	0,20	0,42	0,29
12	4	0,05	0,04	0	0,00	8,13	0,01	3,13	8,13	0,01	0,61	0,24

Результаты подсчета потерь фильтрацией в процентах на километр и проницаемость грунта в метрах в сутки, по предлагаемым формулам, сведены в таблице 3.

Таблица 3

Потери воды фильтрацией в процентах на км и проницаемость грунтов

№№	Исследуемый канал	Характер и ложе трассы	σ_{0}% на километр	С м/сут.
1	Мог. Голодностеп.	Лессовая выемка. Дно и откосы покрыты отложенным лессом и мелким песком	0,30	0,46
2	То же	То же, что 1	0,46	0,81
3	Чардаринский маг.	Полувыемка-полунасыпка в лессовом грунте	2,93	0,39
4	Шават	Выемка, верхний серй дна и откосов наносные, с преобладанием илистых частиц	0,14	0,19
5	Зох	Выемка в суглинисто-конгломератовых берегах, дно местами песчаное	0,47	
6	Боа-су	Выемка в крупном галечнике	0,66	—
7	Дарком	Выемка в галечниковых и лессовых берегах. Дно галечниковое с примесью песка	0,58	0,26
8	Левая ветвь р. Сукулук	Выемка в крупном галечнике с песком	5,91	0,91
9	Осман	Выемка в галечнике, покрытом слоем речных отложений до 0,75 м.	0,84	0,21
10	Осман	Выемка в глинистых заросших берегах и галечниковом дне	1,24	0,32
11	Осман	См. 9 и 10	0,94	0,27
12	Выпуск из канала Осман № 23	То же, что и 10	6,52	0,27

Таблица 4

Гидравлические элементы при определении потерь

№№ и пор. описания	Исследуемый канал	Место	Длина участка при определении потерь	Число отдельных наблюдений	Средние из отдельных наблюдений							Примечание
					Q	ω	B	H	P	V	i‰	
1	Маг. Голодностеп	15 км.	9,63	9	61,7	82,9	39,4	2,10	40,9	0,74	0,0110	
		25 „		9	59,8	74,0	28,5	2,59	30,9	0,81	0,0128	
2	То же	29 км.	9,04	9	63,5	72,7	27,3	2,66	29,6	0,87	0,0153	Q — замеренные расходы воды м³/с.
		38 „		9	58,8	68,7	26,7	2,57	28,7	0,86	0,0114	ω — площадь живого сечения в кв. м
3	Чардаринский маг.	30 км.	10,90	15	1,52	4,74	6,62	0,71	7,14	0,32	0,0121	B — ширина по верху в м.
		41 „		15	1,17	13,0	9,17	1,42	10,49	0,09	0,0013	H — средняя глубина в м.
4	Шавват (Хорезм)	Участок № 1	12,60	10	73,3	102,4	63,0	1,62	64,1	0,71	0,0164	P — смоченный периметр.
		„ № 2		10	69,8	93,3	46,4	2,01	48,0	0,75	—	V — средняя скорость м/сек.
5	Зах	8 км.	7,00	10	15,3	16,8	11,3	1,48	13,1	0,91	0,0742	i — уклон в процентах.
		15 „		10	12,3	13,5	9,48	1,42	11,1	0,91	0,0691	
6	Боз-су	3 км.	5,00	14	47,3	23,8	19,3	1,23	20,2	1,99	0,3536	
		8 „		15	44,1	21,8	19,4	1,12	20,5	2,02	0,3251	
7	Дергом	у головы	11,50	13	24,1	17,0	24,6	0,69	25,1	1,42	0,2070	
		12 км.		14	17,9	10,5	13,1	0,80	13,6	1,70	0,2580	
8	Левая ветвь р. Сукулук	2 км.	3,00	11	0,44	0,45	2,35	0,19	2,61	0,98	2,470	
		5 „		11	0,33	0,35	1,78	0,20	2,15	0,94	3,0700	
9	Осман	3 км.	4,80	17	1,58	1,86	5,95	0,31	6,12	0,84	0,4850	
		8 „		16	1,04	0,96	3,48	0,28	3,69	1,11	0,5640	
10	То же	19 км.	11,10	17	0,78	1,02	2,94	0,35	3,25	0,75	—	