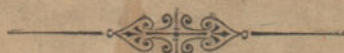


624.2
P-79

Проф. Г. Д. ДУБЕЛИРЪ.

ОПРЕДѢЛЕНІЕ ОТВЕРСТІЙ МАЛЫХЪ МОСТОВЪ.



П О



ПЕТРОГРАДЪ.

Типографія Министерства Путей Сообщенія
(Товарищества И. Н. Кушнеревъ и К^о), Фонтанка, 117.

1917.

4.
3/2

1717

*Министерству
Александръ Трубецкой
Артемьевичу*

Проф. Г. Д. ДУБЕЛИРЪ.

У

в. м. а. м. а.

*624.2
2-79*

ОПРЕДѢЛЕНІЕ ОТВЕРСТІЙ

МАЛЫХЪ МОСТОВЪ.

Библиотека Академии

Ча

✓



*проверено
1966 г.*



ПЕТРОГРАДЪ.

Типографія Министерства Путей Сообщенія

(Товарищества И. Н. Кушнеревъ и К^о), Фонтанка, 117.

1916.

И

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHYSICS DEPARTMENT

1950

ОГЛАВЛЕНІЕ.

	СТРАН.
1. Задача опредѣленія величины отверстій	3

Г л а в а I.

Явленіе стока воды въ бассейнахъ.

2. Интенсивность ливней	5
3. Расчетное количество выпадающей воды.	6
4. Продолжительность ливней.	7
5. Распространеніе ливней.	8
6. Просачиваніе и испареніе.	9
7. Стокъ воды по поверхности бассейна.	11

Г л а в а II.

Формулы для опредѣленія расходовъ воды.

8. Основная формула расхода воды, стекающей съ бассейна.	13
9. Скорость стеканія воды по бассейну, въ предположеніи равномернаго движенія.	16
10. Скорость стеканія въ предположеніи неравномернаго и неустановившагося движенія.	24
11. Опредѣленіе площади стока по скоростямъ	27
12. Трудность теоретическаго опредѣленія точной величины расхода въ бассейнѣ.	28
13. Практическія значенія коэффициентовъ въ формулѣ для опредѣленія расхода воды.	30
14. Примѣры опредѣленія расхода воды.	35
15. Сравненіе новой формулы съ формулой Кестлина.	36
16. Сравненіе новой формулы съ другими формулами разныхъ авторовъ.	46
17. Формулы теоретическія. Формулы проф. Зброжека.	47
18. Формулы Гербста.	49
19. Формула Майера.	52
20. Формулы типа Беркли-Циглера.	53
21. Числовыя эмпирическія нормы для опредѣленія расхода.	55
22. Общіе выводы изъ сопоставленія различныхъ формулъ и нормъ съ предлагаемой новой формулой.	58
23. Расходъ при таяніи снѣга.	59

Г л а в а III.

Расчетъ отверстій малыхъ мостовъ.

24. Общіе соображенія.	64
25. Опредѣленіе отверстия моста по формулѣ затопленнаго водослива.	69
26. Опредѣленіе глубины потока.	71

	СТРАИ.
27. Приемы для сокращенія вычисленія глубины потока	72
28. Приближенное опредѣленіе глубины a	72
29. Выводъ формулы (13) для приближенной глубины.	75
30. Формулы для перехода отъ одной глубины къ другой.	76
31. Примѣненіе графиковъ № 1 и № 2 для опредѣленія глубины a	78
32. Примѣненіе графиковъ №№ 3, 4 и 5 для опредѣленія скорости.	80
33. Опредѣленіе величины подпора и скорости притеканія воды.	81
34. Упрощеніе расчета величины отверстия и высоты подпора съ помощью таблицъ.	83
35. Примѣненіе графика № 6 для опредѣленія величины отверстия.	87
36. Примѣненіе графиковъ № 7 и № 8 для опредѣленія величины подпора h	88
Таблица № 1—Значеніе коэффициента $C\sqrt{R}$	90
Таблица № 2—Величины \sqrt{i}	92
Таблица № 3—Высоты $h = \frac{v^2}{2g}$	94
Образецъ новаго бланка № 1 (по графикамъ).	95
Образецъ новаго бланка № 2 (по таблицамъ).	101

Въ концѣ книги графики № 1—№ 8.

СЛѢДУЕТЪ ИСПРАВИТЬ ОПЕЧАТКУ:

стран.:	строка:	напечатано:	слѣдуетъ:
13	5	$Q = \psi \varphi RF$	$Q = \psi \varphi DF$

Опредѣленіе отверстій малыхъ мостовъ.

1. **Задача опредѣленія величины отверстій.** Съ вопросомъ объ опредѣленіи величины отверстія дорожнымъ инженерамъ приходится сталкиваться постоянно. Улучшеніе дорогъ въ земской практикѣ сводится, главнымъ образомъ, къ постройкѣ мостовъ и трубъ и устройству подходовъ къ нимъ. При составленіи проектовъ шоссеванія и замощенія большихъ трактовъ расчетъ отверстій также играетъ существенную роль, такъ какъ этими расчетами опредѣляются подпорные горизонты и, вмѣстѣ съ тѣмъ, проектная линия полотна при пересѣченіи тальвеговъ.

Задача опредѣленія отверстія сводится: 1) къ опредѣленію наибольшаго возможнаго *расхода воды* въ данномъ бассейнѣ и 2) къ отысканію такого *наименьшаго разстоянія между устоями моста*, или трубы, которое бы обезпечивало пропускъ наибольшаго расхода. При этомъ *скорость* прохода воды черезъ сооруженіе не должна достигать предѣловъ, при которыхъ становится возможнымъ размывъ русла, или разрушеніе искусственнаго лотка сооруженія. Въ то же время *горизонтъ воды*, подпертый вслѣдствіе стѣсненія русла сооруженіемъ, не долженъ подниматься настолько высоко, чтобы становилось возможнымъ подтопленіе выше лежащихъ земель, или затопленіе полотна дороги.

Вода собирается къ сооруженію съ площади бассейна, лежащаго выше дороги, вслѣдствіе выпаденія въ этомъ бассейнѣ дожди или таянія снѣга. Для южной полосы Россіи наибольшія величины расхода получаютъ отъ ливней, для центральной и сѣверной—по большей части отъ таянія снѣговъ весной.

Величина расхода, а слѣдовательно и величина отверстія, зависятъ отъ цѣлаго ряда причинъ: отъ интенсивности и распредѣленія осадковъ въ бассейнѣ, отъ величины и конфигураціи пло-

щади бассейна, отъ его почвы, отъ формы тальвега, по которому вода подходитъ къ сооруженію и т. д.

Уложить всё эти разнообразныя и трудно поддающіяся расчету обстоятельства въ рамки точнаго математическаго анализа невозможно. Между тѣмъ, повседневная строительная практика требуетъ какого либо пріема опредѣленія отверстій, по возможности несложнаго для заурядныхъ вычисленій и, въ то же время, способнаго отражать въ себѣ все разнообразіе дѣйствительныхъ мѣстныхъ условій. Для рѣшенія этой задачи у насъ чаще всего пользуются такъ называемыми *нормами Кестлина*, принятыми, какъ въ дорожной, такъ и въ желѣзнодорожной практикѣ, для бассейновъ площадью менѣе 50 кв. верстъ. Неудовлетворительность этихъ нормъ давно обращала на себя вниманіе *).

Сооруженія, рассчитанныя по этимъ нормамъ оказались, въ большинствѣ случаевъ, излишне большими, а наблюденные расходы никогда, даже приблизительно, не достигали расчетныхъ величинъ. Въ такихъ случаяхъ, очевидно, были излишне затрачены средства, которыя могли бы съ бѣльшей пользой пойти на другія неотложныя сооруженія. Въ то же время имѣли мѣсто и другіе случаи, когда рассчитанные по этимъ нормамъ мосты были не въ состояніи пропустить наибольшаго расхода и при сильныхъ ливняхъ разрушались.

Такіе неудовлетворительные результаты опредѣленія отверстій по формулѣ Кестлина, въ сущности, не являются чѣмъ либо неожиданнымъ. При ближайшемъ ознакомленіи съ этой формулой оказывается, что положенныя въ ея основу предположенія не отвѣчаютъ ни условіямъ стока воды въ бассейнахъ вообще, ни частнымъ видоизмѣненіямъ этихъ условій при различныхъ обстоятельствахъ. Наоборотъ, чисто случайнымъ совпаденіемъ цифръ приходится объяснять то, что въ нѣкоторыхъ случаяхъ получались результаты болѣе или менѣе правдоподобные.

Вопросъ о видоизмѣненіи этой формулы поднимался много разъ. Настоящая работа также представляетъ собой попытку дать рѣшеніе вопроса объ опредѣленіи расхода воды въ формѣ доста-

*) Изъ литературы, посвященной этому вопросу, укажемъ на работу Н. Е. Долгова—„О нормахъ Кестлина и несоотвѣтствіи этихъ нормъ результатамъ наблюденій надъ ливнями на Екатерининской жел. дор.“; статью проф. О. Г. Зброжека „Стокъ атмосферныхъ осадковъ“ въ Ж. М. П. С. 1901 г., книги 8, 9, докладъ проф. Л. Ф. Николаи Инженерному Совѣту въ 1907 г. и др.

точно простой и удобной для практики и, въ то же время, въ формѣ способной видоизмѣняться для различныхъ мѣстныхъ условий.

Помимо вопроса о *расходѣ*, въ настоящемъ докладѣ затрагивается также вопросъ о *расчетѣ отверстія* моста по заданному расходу. Общепринятый у насъ способъ этого расчета чрезвычайно сложенъ, требуя длинныхъ выкладокъ и, въ то же время, страдаетъ также недостаточной для практики гибкостью. Въ концѣ настоящей статьи указываются приемы и приводятся таблицы для возможнаго упрощенія этого расчета.

Г л а в а I.

Явление стока воды въ бассейнахъ.

2. Интенсивность ливней. Для разбираемаго нами вопроса имѣетъ значеніе наибольшая интенсивность ливня за *короткое время*, т. е. за нѣсколько минутъ, а не общее количество осадковъ, выпадающихъ за болѣе или менѣе продолжительный періодъ, напр., за сутки, или за годъ. Интенсивность ливней измѣряется въ миллиметрахъ (осадковъ) въ минуту. Ливень интенсивностью 1 мм. въ минуту даетъ 1,953 куб. саж. воды на одну кв. версту. Наблюденія показываютъ, что эта интенсивность (1 мм. въ минуту) можетъ быть признана сравнительно большой. Приблизительно такая интенсивность (0,96 мм. въ минуту) была положена Кестлиномъ въ основу его формулы. Норма эта была введена въ Россіи послѣ Кукуевской катастрофы, во время которой наблюденная интенсивность дала 115 мм. за 4 часа, т. е. всего $\frac{1}{2}$ мм. въ минуту. Балашевская катастрофа произошла при наблюденной интенсивности 1,3 мм. въ минуту.

Метеорологія знаетъ случаи еще болѣе интенсивныхъ ливней. Такъ, въ Павловскѣ въ 1890 году былъ ливень, давшій 2,1 мм. въ минуту; на юго-западѣ Россіи наблюдалось нѣсколько ливней въ 2,5—3 мм. въ часъ *). Воейковъ указываетъ на ливни въ Нагартавѣ, Херсонской губерніи, 3,3 мм. въ минуту, и въ Коровенцахъ, Полтавской губ., въ 5,7 мм. въ минуту. Наибольшая

*) Въ частности въ Кіевѣ наблюдался 7 іюля 1902 года ливень, давшій въ 25 минутъ 32,7 мм. при максимальной интенсивности 1,51 мм. въ минуту.

упоминаемая въ литературѣ интенсивность ливня въ 12,2 мм. въ минуту наблюдалась въ Румыніи.

Однако, ливни интенсивностью больше 2 мм. въ минуту крайне рѣдки. Упомянутый ливень въ Павловскѣ былъ единственный за 14 лѣтъ. За 10 лѣтъ на юго-западѣ Россіи было зарегистрировано 260 ливней, изъ числа которыхъ всего 5 случаевъ, т. е. только 2⁰/₁₀ ливней имѣло интенсивность болѣе 2 мм.

3. Расчетное количество выпадающей воды. Для практическихъ расчетовъ удобнѣе замѣнять интенсивность ливня въ миллиметрахъ въ минуту количествомъ воды— D , въ кубическихъ саженяхъ, выпадающимъ въ одну секунду на площадь бассейна въ одну квадратную версту.

Интенсивность ливня въ миллиметрахъ.		Величина D куб. саж. въ сек.	Интенсивность ливня въ миллиметрахъ.		Величина D куб. саж. въ сек.
Въ минуту h .	Въ часъ.		Въ минуту h .	Въ часъ.	
		Съ 1 кв. вер.			Съ 1 кв. вер.
0,50	30	0,977	1,66	100	3,26
0,96	57,6	1,875	2,00	120	3,908
1,00	60	1,953	2,50	150	4,885
1,50	90	2,931	5,00	300	9,770

Таблица эта выведена на основаніи зависимости:

$$D \text{ куб. саж./сек.} = \frac{h \text{ м/м} \times 0,469 \times 500 \times 500}{60 \times 1000} = 1,953 h.$$

Напримѣръ, для интенсивности въ 100 мм. въ часъ количество воды, выпадающей въ 1 секунду на бассейнъ площадью въ F кв. версть $Q' = DF = 3,26 F$ или $3,3F$, а при интенсивности 1 мм. въ минуту $Q' = 1,953F$, или, округленно, $Q' = 2F$.

При выборѣ максимальной интенсивности ливня для проектированія моста приходится также считаться съ тѣмъ, какого рода сооруженіе предполагается строить.

Для желѣзнодорожныхъ сооружений недостаточность отверстія и, какъ слѣдствіе, разрушеніе моста и пути, можетъ повести къ катастрофѣ, почему этого рода сооруженія должны считаться съ запасомъ, т. е. на ливень 100—120 мм. въ часъ.

Въ сооруже́нiяхъ для земскихъ дорогъ опасность катастрофы сравнительно невелика; разрушенiе моста можетъ повлечь за собой только перерывъ въ удобномъ сообщенiи. Такъ какъ земскiй бюджетъ, сравнительно съ потребностями, очень ограниченъ, то здѣсь умѣстной является такая точка зрѣнiя, что лучше построить какъ можно больше мостовъ въ разныхъ мѣстахъ уѣзда и рисковать, что разъ въ десять лѣтъ какой либо изъ нихъ будетъ разрушенъ ливнемъ, чѣмъ строить мосты въ меньшемъ числѣ, но съ запасомъ на величину отверстiя. При послѣднемъ рѣшенiи, въ конечномъ результатѣ потребность въ перевозкахъ будетъ обезпечена хуже, такъ какъ въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ мосты останутся невыстроенными, нарушенiе перевозокъ будетъ ежегоднымъ.

Поэтому, для земскихъ мостовъ достаточно ограничиться меньшей интенсивностью ливня, напр. 1 мм. въ минуту (60 мм. въ часъ).

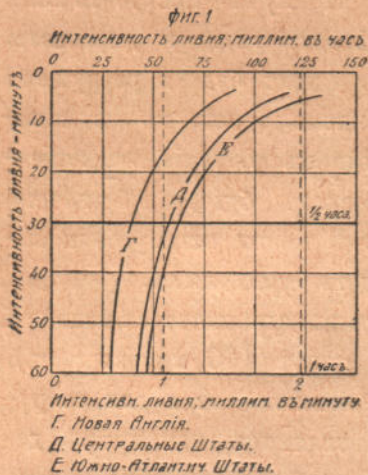
Въ особенности не слѣдуетъ преувеличивать ливня для сооруженiй *временнаго характера*, каковыми являются, напримѣръ, деревянные мостики, которые, даже въ случаѣ разрушенiя, могутъ быть возстановлены безъ особо большихъ расходовъ.

4. Продолжительность ливней. Можно считать установленнымъ, что ливни большой интенсивности продолжаются сравнительно недолго, не больше 20—30 минутъ. Такъ, по даннымъ съѣти станцiй юго-западной Россiи за 1886—1895 гг.

Продолжительность ливня, въ минутахъ.		Количество осадковъ, въ миллиметрахъ въ минуту.	
Отъ	до	Среднее.	Наибольш.
—	15	3,15	5,7
15	30	1,32	2,9
30	45	0,91	1,4
45	1 час.	0,88	1,5
1	1,5	0,57	1,3
1,5	2	0,40	1,0
2	3	0,36	0,6
3	4	0,25	0,5

Изъ этой таблицы видно, что при интенсивности въ 2 мм. въ минуту продолжительность ливня не превосходитъ 30 минутъ.

По даннымъ Folwell'я*), аналогичный выводъ получается изъ наблюдений надъ ливнями въ Соединенныхъ Штатахъ.



Кривыхъ фиг. 1, представляющихъ интенсивность американскихъ ливней, видно, что при продолжительности въ 30 минутъ, интенсивность не превосходитъ 1 мм. въ минуту. На фиг. 2 данные съѣти юго-запада Россіи графически сопоставлены съ американскими данными. Характерная точка перегиба кривыхъ юго-западной съѣти соответствуетъ интенсивности 50 мм. за 30 мин. (100 мм. въ часъ и продолжительн. 30 мин.).

Если продолжительность ливня t , а интенсивность D куб. саж. то $\frac{Dt}{500^2}$ изображаетъ изъ себя высоту осадковъ за все время ливня въ саж., а $H = \frac{2Dt}{500}$ въ тысячныхъ сажени. Такъ, на примѣръ, при продолжительности ливня $t = 30$ мин. и интенсивности $D = 3,26$ (100 мм. въ часъ) получимъ

$$H = \frac{2 \times 3,26 \times 30 \times 60}{500} = 23,5 \text{ тыс. саж. или } 50 \text{ мм.}$$

5. Распространеніе ливней. При болѣе или менѣе значительныхъ бассейнахъ ливень покрываетъ только часть площади бассейна и, при томъ, *неравномерно*. Точныхъ законовъ распространенія ливня по площади нѣтъ; а различныя предлагаемыя формулы выведены изъ единичныхъ наблюдений. Такъ, Лаутербургъ**), указывая, что сильные ливни покрываютъ площадь не болѣе 25 кв. килом., предлагаетъ пользоваться для большихъ бассейновъ коэффициентомъ уменьшенія $\frac{32}{31 + F}$, гдѣ F площадь бассейна въ квадр. километрахъ. Для $F = 25$ кв. вер. эта формула

*) Blanchard and Drowne, Text-book on highway engineering, New-York 1913.

**) Kalender fur Strassen und Wasserbau Ingenieure, 1906, abt. I стр. 36.

даетъ уменьшеніе 0,54 (отъ максимальной силы ливня), а для площади 50 кв. в.—0,36.

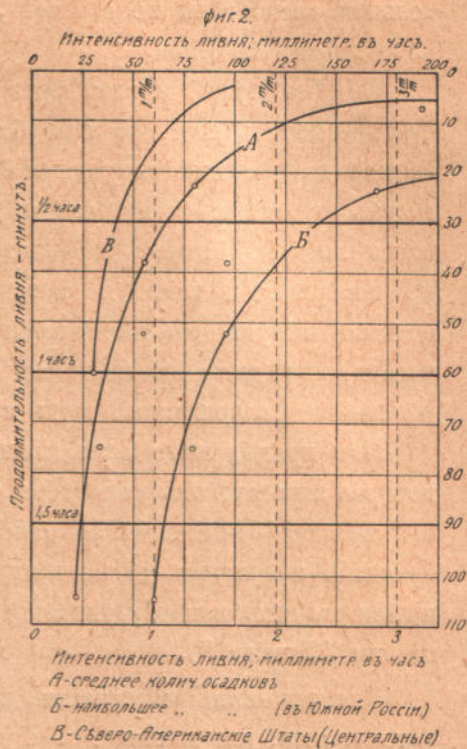
Такими значительными уменьшеніями, недостаточно еще провѣренными опытомъ, осторожнѣе не пользоваться; однако, для бассейновъ крупныхъ, отъ 25 до 50 кв. вер., возможно, повидимому, уменьшать интенсивность ливня на 20⁰/₀, т. е. пользоваться коэффициентомъ 0,80.

6. Просачиваніе и испареніе. Не все количество воды, выпадающей въ бассейнѣ, стекаетъ къ искусственному сооруженію, часть этой воды просачивается въ землю и часть испаряется.

Если выпадетъ DF куб. саж. въ секунду, то къ сооруженію подходит не болѣе ψDF , гдѣ ψ —такъ наз. коэффициентъ поглощенія. Коэффициентъ ψ можетъ быть больше единицы только въ исключительныхъ случаяхъ, напр. при наличіи родниковъ, питаемыхъ водой изъ другихъ бассейновъ. Въ обыкновенныхъ случаяхъ всегда $\psi < 1$.

Просачиваніе зависитъ отъ свойствъ грунта. Больше всего воды просачивается въ песчаныхъ и, вообще, рыхлыхъ грунтахъ, далѣе идутъ глинистые и, наконецъ, менѣе всего просачивается въ плотныхъ скалистыхъ грунтахъ, не имѣющихъ трещинъ. Въ обыкновенномъ грунтѣ просачиваніе измѣняется съ продолжительностью ливня.

Въ началѣ ливня, когда почва суха, она задерживаетъ много воды. По мѣрѣ насыщенія просачиваніе замедляется, и, наконецъ, по влажной почвѣ вода скатывается, какъ по непроницаемой поверхности. По окончаніи ливня часть воды, задержанной на поверхности въ видѣ лужъ, мелкихъ ручьевъ и проч. продолжаетъ медленно просачиваться.



Что касается испарения, то, на первый взгляд, можно бы думать, что за небольшое время ливня оно слишком незначительно, чтобы принимать его в расчет. На самом же дѣлѣ, значительная часть воды не стекаетъ, а задерживается послѣ ливня на поверхности бассейна.

Помимо лужъ, и влажности поверхностнаго слоя почвы, слѣдуетъ отмѣтить еще довольно большое количество воды, задерживаемой на поверхности *растений*. Насколько велико это количество можно судить по тому, что въ лѣсу, даже послѣ довольно сильныхъ ливней, бываетъ сравнительно сухо. Вся эта задержанная на поверхности земли и растений вода, хотя выпадаетъ въ нѣсколько минутъ, но испаряется затѣмъ въ теченіе нѣсколькихъ часовъ, или даже нѣсколькихъ дней; поэтому, общая доля испаряющейся (задержанной) воды можетъ быть значительной.

Изъ предыдущаго ясно, насколько трудно учесть величину ψ , которая зависитъ отъ характера почвы, растительности и, отчасти, отъ топографіи мѣстности. Полное отсутствіе систематическихъ наблюдений и опытовъ дѣлаетъ эту задачу еще труднѣе. Изъ имѣющихся по сему вопросу указаній въ литературѣ, отмѣтимъ коэффициенты Chamier *).

Для равнинной мѣстности, для песчаного грунта, для пашни	$\psi =$ отъ 0,25 до 0,35
Для луговъ, легкихъ скатовъ, проницаемой почвы	0,35 „ 0,45
Для лѣсныхъ склоновъ съ плотнымъ или каменистымъ грунтомъ	0,45 „ 0,55
Для горной скалистой мѣстности, или непроницаемой почвы	0,55 „ 0,65

При расчетахъ канализационныхъ сѣтей **) принимаются различныя нормы.

По опытамъ, сдѣланнымъ въ Лондонѣ надъ четырьмя каналами, лежащими въ хорошо замощенныхъ кварталахъ оказалось, что въ водостокахъ протекаетъ отъ 10⁰/₀ до 66⁰/₀ всего количества выпавшей воды. Frühling даетъ различныя значенія для коэффициента ψ , изъ числа которыхъ приведемъ слѣдующія:

*) Blanchard and Drowne, стр. 69.

**) См. проф. В. Ф. Ивановъ. Канализация населенныхъ мѣсть, Кіевъ 1911 г.

Лѣса, примыкающіе къ городской тер- риторіи	$\psi = 0,01 — 0,20$
Сады, парки, поля	$\psi = 0,05 — 0,25$
Незастроенныя площади желѣзнодорож- нскихъ, торговыхъ площади и проч.	$\psi = 0,10 — 0,30$
Городскіе кварталы съ постройками, окру- женными садами (открытая застройка)	$\psi = 0,25 — 0,50$
Бульварная мостовая	$\psi = 0,40 — 0,50$

При постройкѣ Екатерининской жел. дор. количество впитывающихся осадковъ исчислялось въ куб. саж. въ секунду. Такой способъ, помимо сложности, неудобенъ тѣмъ, что просачиваніе и испареніе продолжаются дольше ливня.

Сопоставляя различныя данныя и ограничивая характеристику бассейна небольшимъ числомъ категорій, можно, для перваго приближенія, остановиться на такихъ коэффициентахъ.

Песчаный грунтъ, лѣсистая, ровная мѣстность	$\psi = 0,15$
Среднія условія	$\psi = 0,25$
Скалистый, или, вообще, непроницаемый грунтъ, отсутствіе растительности, крутые склоны (нѣтъ застоя воды послѣ дождя)	$\psi = 0,35$

7. Стокъ воды по поверхности бассейна. Итакъ, если въ бассейнѣ, площадь F кв. верстъ выпадаетъ въ секунду D куб. саж. на кв. версту, то количество воды, стекающей съ бассейна, будетъ ψDF , гдѣ $\psi < 1$. Однако, не все это количество будетъ *одновременно* проходить черезъ сооруженіе.

Расходъ $Q = \psi DF$ имѣетъ мѣсто только въ малыхъ бассейнахъ (длиной, приблизительно, не болѣе 2 версты). Въ большихъ бассейнахъ расходъ Q будетъ меньше. За время продолжительности ливня (30 минутъ, см. выше, § 4) вода съ отдаленныхъ концовъ бассейна не успѣетъ еще стечь и достигнуть сооруженія. Поэтому, въ началѣ ливня, до сооруженія дойдетъ вода только съ ближайшихъ частей бассейна, а затѣмъ, постепенно, все съ болѣе и болѣе удаленныхъ. Если бассейнъ великъ, то возможно, что когда будетъ подходить вода отъ удаленныхъ вершинъ бассейна, ливень закончится и вода съ ближайшихъ частей успѣетъ уже пройти черезъ сооруженіе. Такимъ образомъ, *одновременно*

будет участвовать вода только с части бассейна F' , называемой площадью стока, и расход будет $Q = \psi DF'$. На фиг. 3 (а, б, в) представлен последовательный сток с различных частей бассейна. В первые $\frac{1}{2}$ часа (фиг. 3 а), вода будет проходить только с площади I. Линия 30—30 представляет собой геометрическое место точек, от которых вода, стекая, может достигнуть сооружения в течение $\frac{1}{2}$ часа. Если ливень по истечении 30 минут

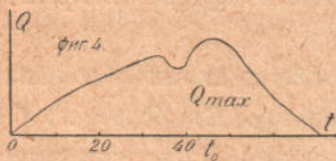


прекратится, то ближайшія къ сооруженію площади перестанут подавать воду и къ сооруженію будет подходить только вода с болѣе удаленныхъ частей бассейна. Такъ напримѣръ, 35 минут послѣ начала ливня и, слѣдовательно, 5 мин. послѣ его конца, через сооруженіе будет подходить вода, собравшаяся с площади II (фиг. 3 б). Спустя 45 мин. послѣ начала дождя через сооруженіе будет проходить вода с площади III (фиг. 3 в), и т. д.

Слѣдовательно, расходъ воды через сооруженіе въ любой моментъ

$$Q = \psi DF_k$$

гдѣ F_k есть часть площади бассейна, соотвѣтствующая данному моменту, на подобіе указанныхъ выше площадей стока I, II, III.



Если по оси абсциссъ (фиг. 4) отложить время t въ минутахъ, а по оси ординатъ величины расхода воды Q у сооружения въ различные моменты, то получится кривая, на подобіе представленной на фиг. 4. Для нѣкотораго t_0 , величина Q достигнетъ, очевидно, наибольшаго значенія

$$Q_{\max} = \psi DF_{\max}$$

гдѣ F_{\max} наибольшая изъ площадей стока F_k . Отношеніе

$$\psi = \frac{F_{\max}}{F}$$

назовемъ коэффициентомъ стока даннаго бассейна.

ГЛАВА II.

Формулы для опредѣленія расхода воды.

8. Основная формула расхода воды, стекающей съ бассейна. Такимъ образомъ,

$$Q = \psi \varphi R F \dots \dots \dots (1)$$

гдѣ Q — расходъ воды въ куб. саж. въ секунду,

ψ — коэффициентъ поглощенія, $\psi < 1$

φ — коэффициентъ стока, $\varphi < 1$,

D — наибольшее количество выпадающей во время ливня воды, въ куб. саж. въ секунду, на 1 кв. версту поверхности бассейна,

F — площадь бассейна (выше сооруженія), въ кв. верстахъ.

Формула (1) — не есть какая либо условная, или эмпирическая формула, — она представляет истинную величину расхода воды. Точность ея результатовъ зависитъ отъ вѣрности опредѣленія коэффициентовъ ψ и φ *).

Разсмотримъ сначала частные случаи опредѣленія коэффициента стока. Возьмемъ простѣйшій теоретическій случай, когда (фиг. 5) бассейнъ имѣетъ форму плоскаго прямоугольника съ шириной b вер. и длиной L вер. Допустимъ, что по всей поверхности бассейна вода стекаетъ по линиямъ наибольшаго ската съ нѣкоторой постоянной скоростью v саж. въ секунду, соответствующей уклону бассейна. Тогда, за время ливня t секундъ вода успеетъ пройти расстояние vt и, очевидно, площадь стока



$$F_1 = F_2 = \dots F_k = F_{\max} = \frac{bvt}{500} \text{ кв. версть,}$$

расходъ Q

$$Q = \psi D F_{\max} = \psi D \frac{bvt}{500},$$

коэффициентъ стока

$$\varphi = \frac{F_{\max}}{F} = \frac{bvt}{500bL} = \frac{vt}{500L},$$

*) Формула $Q = \psi \varphi D F$ давно примѣняется при расчетахъ канализаціи, см. проф. В. Ф. Ивановъ — Канализація населенныхъ мѣстъ, стр. 85.

или

$$Q = \frac{\psi D t}{500} \times v \times \frac{F}{L} \dots \dots \dots (2)$$

Представимъ эту формулу подъ видомъ

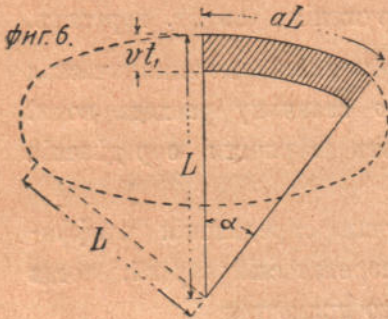
$$Q = A \times B \times \frac{F}{L},$$

гдѣ

$$A = \frac{\psi D t}{500}, \text{ а } B = v.$$

Первый множитель, A —зависитъ отъ интенсивности D и продолжительности t ливня, отъ характера почвы и растительности данной мѣстности.

Второй и третій множители указываютъ, что для прямоугольнаго бассейна расходъ воды обратно пропорціоналенъ длинѣ и прямо пропорціоналенъ скорости стока.



Возьмемъ теперь другой теоретическій случай. Пусть (фиг. 6) бассейнъ представляетъ собой часть конической поверхности съ направляющей по дугѣ круга и съ вершиной у сооружения. Пусть также, какъ и въ первомъ случаѣ, вода равномерно стекаетъ по линіямъ наибольшаго ската бассейна съ нѣкоторой постоянной скоростью v , соответствующей уклону i этихъ линій, (образующихъ конуса).

Въ такомъ случаѣ:

$$F = \frac{aL^2}{2} \text{ гдѣ } a = \frac{\pi}{180}, \text{ (}\alpha\text{—развернутый уголъ при вершинѣ),}$$

$$F_{\max} = \frac{aLvt}{500},$$

$$\varphi = \frac{aLvt}{500} : \frac{aL^2}{2} = \frac{2vt}{500} : L.$$

Отсюда

$$Q_{\max} = D\psi \times \frac{aLvt}{500}$$

или

$$Q_{\max} = \frac{D\psi t}{500} \times 2v \times \frac{F}{L} \dots \dots \dots (3),$$

формула, отличающаяся отъ (2) только подстановкой вмѣсто v величины $2v$.

Какой бы формы ни был бассейн, мы всегда можем положить, что

$$F_{\max} = b \frac{vt}{500}$$

гдѣ b есть нѣкоторое протяженіе въ верстахъ, (этотъ размѣръ мы можемъ назвать шириной бассейна). Кроме того, можно принять

$$F = \frac{bL}{m} \dots \dots \dots (4),$$

гдѣ L есть наибольшая длина бассейна, а m нѣкоторый численный коэффициентъ, характерный для каждаго бассейна. Этотъ коэффициентъ можетъ быть опредѣленъ такимъ образомъ. Изъ формулы (4) очевидно, что $\frac{b}{m}$ есть ширина прямоугольника F , равновеликаго по площади данному бассейну и имѣющаго высоту L . Другими словами, m есть отношеніе наибольшей ширины бассейна b къ его средней ширинѣ $\frac{F}{L}$ и, слѣдовательно, $m > 1$.

Въ такомъ случаѣ,

$$\varphi = \frac{F_{\max}}{F} = \frac{bvt}{500 \times \frac{bL}{m}} = \frac{500 l}{mvt}, \quad \text{гдѣ } l = \frac{mvt}{500}$$

$$Q = \frac{\psi \Delta t}{500} \times mv \times \frac{F}{L} \dots \dots \dots (5)$$

Формула (5) имѣетъ общій видъ и пригодна для всякихъ бассейновъ, если считать коэффициентъ m переменнымъ. Въ частности, для прямоугольнаго бассейна $m = 1$, для бассейна въ формѣ треугольнаго сектора $m = 2$ и т. д.

Въ упрощенномъ видѣ формула (5) можетъ быть представлена такъ:

$$Q = A \times B \times \frac{F}{L},$$

гдѣ

$$A = \frac{\psi \Delta t}{500},$$

$$B = mv.$$

Наибольшая ширина площади стока b можетъ быть опредѣлена также нѣсколько иначе.

Считая, что въ подобныхъ бассейнахъ всѣ линейные размѣры пропорціональны \sqrt{F} , можно положить, что

$$F_{\max} = k \sqrt{F} \times \frac{vt}{500}.$$

Въ такомъ случаѣ,

$$\varphi = \frac{F_{\max}}{F} = \frac{k\sqrt{F} \times vt}{500 \times F} = \frac{kt}{500} \times \frac{1}{\sqrt{F}}$$

$$Q = D\psi\varphi F = \frac{D\psi t}{500} \times kv \times \sqrt{F} \quad \dots \quad (5 \text{ bis})$$

Замѣтимъ, что если формула вида (5)

$$Q = \frac{D\psi t}{500} \times mv \times \frac{F}{L}$$

лучше всего соответствуетъ бассейнамъ прямоугольной формы, то формула вида (5 bis),

$$Q = \frac{D\psi t}{500} \times kv \times \sqrt{F},$$

наиболѣе подходит для бассейновъ полукруглой формы, или, вообще, въ видѣ сектора круга.

Изъ сравненія выраженій

$$Q = \frac{D\psi t}{500} \times mv \times \frac{F}{L} = \frac{D\psi t}{500} \times kv \times \sqrt{F}$$

получимъ:

$$k\sqrt{F} = \frac{mF}{L}$$

или

$$k = \frac{m\sqrt{F}}{L} = \sqrt{\frac{mb}{L}}.$$

Это опредѣляетъ зависимость между коэффициентами k и m .

Такимъ образомъ, окончательно, формула (1) расхода воды

$$Q = D\psi\varphi F$$

можетъ быть представлена подъ видомъ

$$Q = \frac{D\psi t}{500} \times mv \times \frac{F}{L} \quad \dots \quad (5)$$

или подъ видомъ:

$$Q = \frac{D\psi t}{500} \times kv \times \sqrt{F} \quad \dots \quad (5 \text{ bis})$$

9. Скорость стеканія воды по бассейну, въ предположеніи равномернаго движенія.

Изъ формулы предыдущаго параграфа слѣдуетъ, что для опредѣленія коэффициента стока

$$\varphi = \frac{mct}{500} : L$$

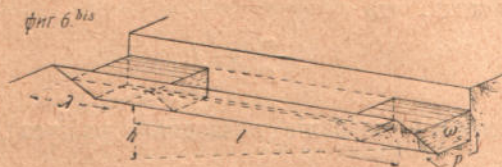
и расхода воды:

$$Q = A \times mv \times \frac{F}{L}$$

необходимо знать величину скорости стока v .

При разсмотрѣніи явленія стеканія можно исходить изъ двухъ предположеній: 1) *равномѣрнаго* движенія воды, съ постоянной скоростью и 2) *неравномернаго* движенія. Обычно, въ расчетахъ расхода воды пользуются первымъ предположеніемъ.

Положимъ, что вода стекаетъ по нѣкоторому руслу, имѣющему по всей длинѣ постояннаго сѣченія ω и уклонъ i ; если движеніе равномѣрно, т. е. $\frac{dv}{dt} = 0$, то работа силы тяжести уравновѣшивается работой тренія (нѣтъ приращенія живой силы). Выдѣлимъ нѣкоторый объемъ воды (фиг. 6 bis) протяженіемъ λ (по длинѣ



русла) имѣющей нормально къ длинѣ площадь живого сѣченія ω и вѣсъ $\Pi = \delta\omega\lambda$, гдѣ δ —плотность воды. Если эта масса перемѣстится внизъ по руслу (фиг. 6 bis) на длину l , соотвѣтствующую разности высотъ h , то уравненіе работъ будетъ:

$$\Pi h = \delta\omega\lambda h = Wl \dots \dots \dots (6)$$

гдѣ W —сопротивленіе движенію отъ тренія. Трение будетъ происходить, вообще говоря, между частицами воды, а также между водой и стѣнками русла. Можно условно отнести всю работу тренія только къ стѣнкамъ русла и предположить, что трение это равномѣрно распредѣлено по всей поверхности соприкосновенія водной массы съ русломъ, т. е. другими словами, пропорціонально поверхности $p\lambda$, гдѣ p есть такъ называемый подводный (смачиваемый) периметръ.

Съ возрастаніемъ скорости трение будетъ увеличиваться, поэтому

$$W = \lambda pf(v),$$

Видъ функція $f(v)$ неизвѣстенъ. Однако, его можно выразить черезъ

$$f(v) = \frac{\delta v^2}{C^2},$$

гдѣ C есть, вообще говоря, нѣкоторая переменная величина, зависящая отъ формы уклона и вида поверхности русла и, въ частности, быть можетъ, даже отъ скорости. Тогда

$$W = \frac{\delta \rho \lambda v^2}{C^2},$$

$$\delta \omega \lambda h = \frac{\delta \rho \lambda v^2 l}{C^2}$$

отсюда, по сокращеніи,

$$v = C \sqrt{\frac{\omega h}{\rho l}}.$$

Если положить, что

$$\frac{\omega}{\rho} = R$$

(причемъ R носить названіе подводнаго радіуса), и принять во вниманіе, что

$$\frac{h}{l} = i,$$

гдѣ i есть продольный уклонъ русла, то получимъ, что

$$v = C \sqrt{Ri} \quad \dots \quad (7)$$

Эта извѣстная формула была предложена Дюбюа (Du-Buat). Простота формулы обусловливается тѣмъ, что величина коэффициента C въ ней предполагается *переменной*.

Для опредѣленія этой величины C были предложены различныя выраженія.

1) По Дарси-Базену:

$$C = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \frac{\beta}{R}}}$$

причемъ C для земляного русла, въ метрическихъ мѣрахъ:

$$C = \frac{1}{\sqrt{0,00028 \left(1 + \frac{1,25}{R \text{ метр.}} \right)}}$$

въ саженьяхъ:

$$C = \frac{1}{\sqrt{0,0005974 + \frac{0,00035}{R \text{ саж.}}}}$$

Для облегченія вычисленія величины v , формулу (7) обыкновенно представляютъ подъ видо́мъ

$$v = C \sqrt{R} \times \sqrt{i}$$

причемъ величину $C\sqrt{R}$ опредѣляютъ по прилагаемой въ концѣ таблицѣ № 1, а величину \sqrt{i} по таблицѣ № 2.

2) По Базену, въ метрахъ:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{1,30}{\sqrt{R \text{ метр.}}}}$$

или, въ саженьяхъ, приблизительно:

$$v \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}} = \frac{100 R}{1,5 + 1,6 \sqrt{R}} \times \sqrt{i} \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$$

3) По Гангиле и Куттеру, въ саженьяхъ:

$$C = \frac{23 + \frac{0,00155}{i} + \frac{1}{n}}{1,4607 + \left(23 + \frac{0,00155}{i}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}}$$

гдѣ величина n принимается для ровнаго земляного русла = 0,025; для русла съ гравіемъ, или съ зарослями, отъ 0,030 до 0,040. Для ручьевъ и тальвеговъ, въ которыхъ уклонъ $i > 0,015$, членъ $\frac{0,00155}{i} < 0,1$ и, поэтому, можетъ быть отброшенъ сравнительно съ величиной $23 + \frac{1}{n}$. Тогда формула Гангиле и Куттера принимаетъ упрощенный видъ

$$v = \frac{23 + \frac{1}{n}}{1,46 + \frac{23 n}{\sqrt{R}}} \sqrt{Ri} \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$$

или, послѣ дальнѣйшаго преобразованія, полагая $\frac{1}{n} = 40$, можно, съ нѣкоторымъ приближеніемъ, написать

$$v = \frac{100 R}{0,9 + 2,3 \sqrt{R}} \times \sqrt{i} \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$$

Въ этомъ видѣ формула эта похожа на вышеупомянутую формулу Базена и даетъ близкіе съ ней результаты.

Изъ всѣхъ этихъ формулъ, и многихъ другихъ, чаще всего примѣняется формула Дарси-Базена (таблицы № 1 и № 2).



Разсмотримъ теперь два частныхъ случая:

а) Пусть русло имѣетъ треугольную форму (фиг. 7) съ глубиною Γ и шириною по урѣзу воды l

Въ такомъ случаѣ

$$\omega = \frac{l\Gamma}{2},$$

$p = l$, (приблизительно, при маломъ $\frac{\Gamma}{l}$)

$$R = \frac{\omega}{p} = \frac{\Gamma}{2},$$

слѣдовательно,

$$v = C \sqrt{\frac{\Gamma i}{2}}.$$

б) Пусть русло имѣетъ форму широкаго прямоугольника (фиг. 8), такъ что $\frac{\Gamma}{l}$ также малая величина. Тогда

$$\omega = \Gamma l, \quad p = l, \quad R = \Gamma$$

и

$$v = C \sqrt{\Gamma i}.$$



Скатъ воды по бассейну почти всегда происходитъ въ условіяхъ, близкихъ къ одному, или къ другому изъ указанныхъ случаевъ. Если вода стекаетъ по болѣе или менѣе *ровному скату*, то живое сѣченіе можно разсматривать какъ прямоугольникъ большой длины и малой высоты (равной толщинѣ слоя). Въ этомъ случаѣ

$$v = C \sqrt{\Gamma} \times \sqrt{i}.$$

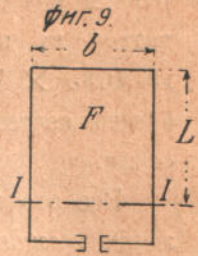
Если вода стекаетъ по ясно выраженному *руслу*, то, приблизительно, можно разсматривать сѣченіе какъ треугольникъ, съ высотой Γ и, въ такомъ случаѣ,

$$v = C \sqrt{\frac{\Gamma}{2}} \times \sqrt{i}.$$

Величина уклона i для *ровныхъ скатовъ* бассейна, обыкновенно, не болѣе 0,03—0,04. Изрѣдка она достигаетъ 0,08—0,12, но это только на скатахъ болѣе или менѣе сильно размытыхъ овраговъ и балокъ.

Въ тальвегахъ, *вдоль русла*, уклонъ этотъ обыкновенно не болѣе 0,005 и рѣдко достигаетъ 0,01—0,015.

Что касается до глубины Γ , то она также зависитъ отъ того, стекаетъ-ли вода по ровному скату, или по сосредоточенному руслу. Для грубаго опредѣленія величины Γ , обратимся опять къ разсмотрѣнному нами прямоугольному бассейну, по которому вода стекаетъ съ постоянной скоростью v . Въ такомъ случаѣ, (фиг. 9) для нѣкотораго сѣченія $I—I$, согласно вышеприведенной формулѣ (2)



$$Q = \frac{\psi \Delta t}{500} \times v \times \frac{F}{L},$$

съ другой стороны,

$$Q = \omega v = 500 \times b \Gamma \times v,$$

гдѣ b ширина бассейна $= \frac{F}{L}$, выраженная въ верстахъ. Отсюда

$$\frac{\psi \Delta t}{500} \times v \times \frac{F}{L} = 500 \times \Gamma \times v \times \frac{F}{L}$$

или

$$\Gamma = \frac{\psi \Delta t}{500^2}.$$

Въ связи съ концомъ § 4, очевидно, что величина

$$H' = 1000 \Gamma = \frac{1000 \times \psi \Delta t}{500 \times 500} = \frac{2 \psi \Delta t}{500}$$

представляетъ собой *въ тысячныхъ сажени долю* высоты осадковъ, стекающую по поверхности бассейна.

Отсюда

$$\Gamma = \frac{H'}{1000},$$

т. е. Γ есть тотъ же размѣръ, что и H' , но выраженный *въ тысячныхъ саженихъ*, а не въ тысячныхъ. При измѣненіи интенсивности ливня отъ 1 до 5 мм. въ минуту (см. § 2), продолжительности

ливня отъ 30 до 15 (§ 4) минутъ и величинѣ коэффициента поглощенія ψ отъ 0,15 до 0,35, глубина Γ слоя воды, стекающей равномерно по плоскому прямоугольному скату, будетъ заключаться въ предѣлахъ отъ $0,15 \times 30 \text{ м/м.} \times 0,47 = 0,002 \text{ с.}$ до $0,35 \times 75 \text{ м/м.} \times 0,47 = 0,012 \text{ саж.}$ Последнее значеніе будетъ соответствовать исключительному ливню и скалистому бассейну.

Все это вычисленіе основывается исключительно на предположеніи *тождественности* значеній скорости v въ формулѣ

$$Q = \frac{D\psi t}{500} \times v \times \frac{F}{L}$$

(гдѣ v есть *средняя* скорость стока по бассейну), и въ формулѣ

$$Q = \omega v$$

(гдѣ v есть скорость въ *данномъ сѣченіи*); другими словами, мы предполагаемъ, что $v = \text{const.}$, т. е. вода стекаетъ по всему бассейну *равномерно*.

Если бассейнъ не имѣетъ формы прямоугольника, то, вообще говоря,

$$\Gamma = \frac{b}{b'} \times \frac{D\psi t}{500^2}$$

гдѣ b' — есть ширина бассейна въ *данномъ сѣченіи*, а b — есть средняя ширина,

$$b = \frac{F}{L}.$$

Въ дѣйствительности, явленіе не происходитъ такъ просто, такъ какъ, при суженіи бассейна и увеличеніи высоты Γ , нельзя предполагать, чтобы скорость v оставалась постоянной. Въ самомъ дѣлѣ, для вершины бассейна треугольной формы при $b' = 0$, мы бы очевидно получили $H = \infty$; разрѣшеніе этого парадокса лежитъ, конечно, только въ измѣненіи скорости.

Если вода стекаетъ не по скату а *по руслу* ясно выраженной формы, то глубина потока Γ , для разсматриваемыхъ нами небольшихъ бассейновъ, можетъ достигнуть 0,30—1,0 саж.

Зная величины Γ и i , попытаемся опредѣлить, пользуясь формулой, въ какихъ предѣлахъ колеблется скорость v . Для этого можно воспользоваться такой таблицей:

		Г л у б и н а в ь с а ж е н я х ь .								
$\Gamma =$		0,005	0,007	0,010	0,015	0,05	0,10	0,30	0,50	1,00
		С к а т ы .				Р у с л а .				
$C\sqrt{\Gamma} =$		0,26	0,37	0,53	0,79	—	—	—	—	—
$C\sqrt{\frac{\Gamma}{2}} =$		—	—	—	—	1,30	2,56	7,15	11,19	19,63
Уклоны i .	\sqrt{i}	С к о р о с т и v в ь с а ж е н я х ь .								
0,001	0,031	—	—	—	—	0,04	0,08	0,22	0,35	0,61
0,005	0,070	—	—	—	—	0,09	0,18	0,50	0,78	1,37
0,010	0,100	—	—	—	—	0,13	0,26	0,71	1,12	—
0,015	0,122	0,03	0,05	0,06	0,10	0,16	0,31	0,87	—	—
0,030	0,173	0,04	0,06	0,09	0,14	—	—	—	—	—
0,050	0,224	0,06	0,08	0,12	0,18	—	—	—	—	—
0,080	0,283	0,07	0,11	0,15	0,22	—	—	—	—	—
0,120	0,346	0,09	0,13	0,18	0,27	—	—	—	—	—

Въ этой таблицѣ принято.

	Подводный радиусъ.	Глубина Γ	Уклонъ i
Для ровныхъ скатовъ	$R = \Gamma$	отъ 0,005 саж. до 0,015 саж.	отъ 1,5% до 12%
Для русель	$R = \frac{\Gamma}{2}$	отъ 0,05 саж. до 1,00 саж.	отъ 0,001 до 0,015

Соответственно этому возможны значенія скоростей, по формулѣ

$$v = C\sqrt{Ri},$$

получились:

Для скатовъ . .	Отъ 0,03 саж./сек. до 0,27 саж./сек.
Для русель . .	Отъ 0,04 саж./сек. до 1,37 саж./сек.

Для русель съ большой глубиной ($L > 0,50$ саж.) не приняты во вниманіе большіе уклоны ($i > 0,01$), такъ какъ такое совпаденіе въ дѣйствительности почти никогда не имѣетъ мѣста.

Среднія (подчеркнутыя) значенія скорости получаютъ:

для ровныхъ скатовъ—0,06 саж./сек.

для русель—0,30—0,70 саж./сек.

10. Основныя уравненія стока при неравномерномъ и неустановившемся движеніи воды.—Разсмотрѣніе вопроса о стеканіи воды по бассейну въ предположеніи равномернаго движенія, т. е. при постоянной скорости, привело насъ, въ концѣ концовъ, къ различнымъ скоростямъ на скатахъ и въ руслахъ, т. е. къ движенію неравномерному.

Бассейнъ никогда не имѣетъ вида плоскости, въ нѣкоторыхъ мѣстахъ стокъ происходитъ по скатамъ, въ другихъ по русламъ. И скаты, и русла имѣютъ различные уклоны i , и поэтому скорость v въ различныхъ частяхъ бассейна не одинакова. Но, если бы даже бассейнъ представлялъ собою плоскость, то, и въ такомъ случаѣ, гипотеза о равенствѣ работы силы тяжести и работы силы тренія не имѣла бы достаточныхъ основаній. Эти двѣ работы, вообще говоря, не уравниваются, и въ результатѣ ихъ неравенства можетъ произойти измѣненіе живой силы водяной массы, т. е. измѣненіе скорости.

Затѣмъ, по мѣрѣ того, какъ вода стекаетъ по бассейну, она собирается все въ большія и большія массы, при чемъ книзу увеличивается глубина потока L , а слѣдовательно, и скорость v . Глубина эта измѣняется, вообще говоря, во все время процесса. Въ началѣ ливня глубина возрастаетъ, доходитъ до нѣкотораго максимума, затѣмъ, спустя нѣкоторое время послѣ прекращенія ливня, она начинаетъ спадать. Такимъ образомъ, глубина L и зависящая отъ нея скорость v измѣняются въ зависимости не только

отъ координатъ x и y точки на поверхности бассейна, но и отъ времени, т. е.

$$\begin{aligned} \Gamma &= f_1(x, y, t), \\ v &= f_2(x, y, t). \end{aligned}$$

Такого рода движеніе жидкости и есть движеніе *неравномерное и неустановившееся*. Основныя уравненія такого движенія имѣютъ слѣдующій видъ.

$$\left. \begin{aligned} i &= \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial L} + \frac{v^2}{C^2 R} \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial L} &= D\psi \frac{\partial F}{\partial L} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (8)$$

Здѣсь q —расходъ въ живомъ сѣченіи площадью ω , находящемся въ разстояніи L отъ вершины бассейна. Остальныя буквы имѣютъ прежнія значенія.

Уравненія (8) представляютъ общее рѣшеніе вопроса.

Строго говоря, переменными въ нихъ являются не только

$$t, \omega, L, v, q,$$

но также и величины

$$C, R, D, \psi.$$

На самомъ дѣлѣ, въ выраженіи

$$\frac{v^2}{C^2 R},$$

представляющемъ собой эквивалентъ силы тренія, величина C не есть, какъ упоминалось выше, въ § 9, постоянная, а величина эта зависитъ отъ поперечнаго сѣченія, отъ состоянія поверхности русла и, отчасти даже, отъ скорости, т. е.

$$C = f_3(x, y, v).$$

Затѣмъ, величина подводнаго радіуса R различна въ разныхъ мѣстахъ потока, и, кромѣ того, зависитъ отъ глубины, а слѣдовательно и отъ времени, т. е.

$$R = f_4(x, y, t).$$

Интенсивность дождя D только условно можетъ быть принята постоянной по времени и одинаковой для всей площади бассейна. Точно также величина ψ измѣняется въ разныхъ мѣстахъ бас-

сейна, въ зависимости отъ почвы и отъ насыщениа ея водою по мѣрѣ выпаденія дождя. Такъ что, фактически,

$$D = f_5(x, y, t)$$

$$\psi = f_6(x, y, t).$$

Но если даже и не вводить этихъ осложненій, а оставить уравненія въ видѣ (8), полагая

$$C, R, D, \psi$$

постоянными, то, и въ такомъ случаѣ, интегрированіе этихъ дифференціальныхъ уравненій въ частныхъ производныхъ выполнено быть не можетъ. Всѣ же попытки произвести такое интегрированіе основаны на допущеніяхъ по большей части совершенно несогласныхъ съ дѣйствительными явленіями.

Такъ, напр. если положить что

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0 \text{ и } \frac{\partial v}{\partial L} = 0,$$

то получимъ:

$$i = \frac{v^2}{C^2 R}$$

т. е.

$$v = C \sqrt{Ri}.$$

Но, очевидно, что положеніе

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0$$

равносильно предположенію, что скорость устанавливается сразу, съ перваго же момента ливня, и притомъ по всей площади бассейна ($\frac{\partial v}{\partial L} = 0$;) все это конечно совершенно не согласно съ дѣйствительностью.

Итакъ, дѣйствительное явленіе стеканія воды по поверхности бассейна чрезвычайно сложно и никоимъ образомъ не поддается расчету. Но, для *частнаго* вопроса объ опредѣленіи *наибольшаго расхода* воды, задача можетъ быть подвергнута схематическому упрощенію. Такъ, прежде всего, вмѣсто дѣйствительныхъ скоростей, измѣняющихся, за время ливня, отъ нуля до максимума,

можно, въ запасъ увеличенія расхода, принять *наибольшія* скорости, т. е. положить

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0, \quad v_t = v_{\max}.$$

Затѣмъ, для *отдѣльныхъ частей* скатовъ и русель, можно положить, что размѣры русла, глубина и величина уклона на всемъ протяженіи участка не мѣняются, т. е., что C , R , Γ и i суть величины постоянныя.

Тогда, въ *предѣлахъ* даннаго участка ската, или русла, получимъ:

$$v = C \sqrt{Ri} = \text{const},$$

$$\frac{\partial v}{\partial L} = 0.$$

Скорость эта, однако, будетъ мѣняться при переходѣ отъ одного участка къ другому, такъ что зависимость v отъ L выразится ступенчатой линіей.

11. Опредѣленіе площади стока по скоростямъ. Изъ предыдущаго, слѣдуетъ, что на постоянныхъ уклонахъ, съ малоизмѣняющейся глубиной Γ , можно предполагать v постояннымъ и опредѣлять его на отдѣльныхъ участкахъ по соображеніямъ, изложеннымъ въ § 9.

При этомъ слѣдуетъ различать два случая—скатъ воды по ровной поверхности и стокъ по ясно выраженному руслу. Величины скорости можно въ обоихъ случаяхъ опредѣлить, пользуясь таблицей на стран. 23.

Если брать величины съ нѣкоторымъ запасомъ, (въ пользу увеличенія площади F_{\max} , т. е. увеличенія расхода), то можно принять:

Для ровныхъ скатовъ.

Уклонъ i меньше 0,03, — $v = 0,10$ саж./сек.

i отъ 0,03 до 0,10, — $v = 0,20$ саж./сек.

Для русель.

Глубина Γ менѣе 0,30 саж., $\left\{ \begin{array}{l} \text{уклонъ до } 0,005, - v = 0,30 \text{ саж./сек.} \\ \text{отъ } 0,005 \text{ до } 0,01, - v = 0,50 \text{ саж./сек.} \end{array} \right.$

Глубина Γ около 0,50 саж., — $v = 0,75$ саж./сек.

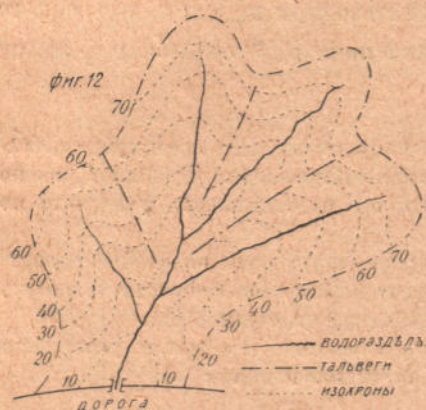
Глубина Γ до 1 саж., — $v = 1,0$ саж./сек.

Такимъ образомъ, для ровныхъ скатовъ и для русель съ глубиной менѣе 0,30 саж. можно задаться скоростью непосредственно, зная уклоны. Что касается до русель съ глубиной въ 0,50 саж. и въ 1,00 саж., то для болѣе точнаго опредѣленія скорости надо знать дѣйствительную глубину. Практически, однако, всегда можно задаться скоростью въ запасъ расхода (наприм., 0,75 саж. вмѣсто 0,50 саж.).

Задавшись скоростями въ разныхъ районахъ бассейна можно опредѣлить время стока съ любой точки до искусственнаго сооруженія. Для этого удобно пользоваться слѣдующими величинами пути, проходимаго водой:

При скорости— сажень въ секунду.	Вода проходить		
	въ 10 ми- нута сажень.	въ 10 ми- нута версть.	въ 30 ми- нута версть.
$v = 0,10$	60	0,12	0,36
$v = 0,20$	120	0,24	0,72
$v = 0,30$	180	0,36	1,08
$v = 0,50$	300	0,60	1,80
$v = 0,75$	450	0,90	2,70
$v = 1,00$	600	1,20	3,60

Пусть имѣется (фиг. 12)*) планъ бассейна съ нанесенными на немъ тальвегами, имѣющими ясно выраженныя русла. Пользуясь предыдущей таблицей,



можно по направленію каждаго тальвега отмѣтить точки, для которыхъ время прохода воды до сооруженія будетъ составлять 10, 20, 30 . . . 80, 90 и т. д. минутъ. Между тальвегами можно намѣтить водораздѣлы (хотя бы по равнодѣлящимъ). По ровнымъ скатамъ между водораздѣлами и тальвегами можно также задаться скоростями стеканія и отмѣтить точки, соответствующія десяткамъ минутъ. Соединяя точки, равноотстоящія по времени стока до сооруженія, получимъ кривыя, которыя могутъ быть названы *изохронами* (фиг. 12). Сравнивая площади, заключенныя между

различными изохронами, отстоящими на 30 минутъ одна отъ другой, мы можемъ найти для даннаго бассейна нѣкоторую наибольшую площадь F_{\max} и соответственный коэффициентъ стока

$$\varphi = \frac{F_{\max}}{F},$$

а съ его помощью и расходъ

$$Q = \varphi \psi D F.$$

12. Трудность теоретическаго опредѣленія точной величины расхода въ бассейнѣ. Возстановимъ въ памяти различныя обстоятельства, съ которыми приходится считаться при опредѣленіи расхода воды въ бассейнѣ и о которыхъ шла рѣчь выше.

Количество выпадающихъ осадковъ зависитъ отъ интенсивности, продолжительности и распространенія ливня. Интенсивность ливня

*) Въ условныхъ знакахъ фиг. 12 обозначенія тальвеговъ и водораздѣловъ слѣдуетъ читать одно вмѣсто другого.

не есть величина постоянная, — она мѣняется за время ливня и въ различныхъ мѣстахъ бассейна. При расчетахъ принимается, для простоты и *въ запасъ расхода*, что интенсивность есть величина D , постоянная по времени и по площади, равная *наибольшей*, наблюдаемой въ данной мѣстности. Продолжительность ливня также принимается *опредѣленной* (напр. 30 минутъ) соответствующей *наибольшему* возможному значенію произведенія Dt , интенсивности и продолжительности.

Далѣе, количество воды, которое не стекаетъ а просачивается и испаряется (задерживается) на поверхности бассейна зависитъ отъ характера почвы, растительности и топографіи бассейна. Это количество, очевидно, различно не только въ разныхъ бассейнахъ, но и въ различныхъ частяхъ одного и того же бассейна. Однако трудность учета этого явленія, во всей его дѣйствительной сложности въ разныхъ частяхъ бассейна, заставляетъ и здѣсь прибѣгнуть къ *схематическому упрощенію*, а именно принять для всей поверхности каждаго бассейна *одинъ коэффициентъ* ψ , характеризующій его свойства въ данномъ отношеніи. Для величины ψ , за неимѣніемъ пока надежныхъ опытныхъ данныхъ, мы приняли $\psi = 0,15 — 0,25 — 0,35$. Этимъ самымъ мы ограничили точность рѣшенія задачи *десятками процентовъ*.

Переходя къ третьей группѣ явленій, къ стоку воды по поверхности бассейна, можно сказать, что онъ представляется въ особенности сложнымъ. Вода стекаетъ въ нѣкоторыхъ частяхъ бассейна сплошнымъ тонкимъ слоемъ, въ другихъ — въ видѣ собравшихся потоковъ по опредѣленнымъ русламъ. Условія стеканія для каждаго изъ этихъ двухъ случаевъ существенно различны, а дѣйствительное распределеніе ихъ на поверхности даннаго бассейна не поддается учету. Мало того, въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ условія стеканія очень сложны. Скорость стеканія мѣняется отъ шероховатости и формы русла, отъ толщины слоя воды, или глубины потока, отъ продольнаго уклона и т. д. Если путемъ нѣкоторыхъ допущеній, всегда болѣе или менѣе неправильныхъ, (наприм. о постоянной скорости, объ установившемся движеніи, о плоской формѣ поверхности ската, о прямолинейной формѣ русла съ постояннымъ уклономъ и постояннымъ поперечнымъ сѣченіемъ), и можно, въ нѣкоторыхъ искусственно выдѣленныхъ частныхъ случаяхъ, попытаться подойти къ математическому освѣщенію задачи, то нечего и думать сдѣлать

это для полной картины *дѣйствительнаго* стока воды, по *всей* поверхности бассейна съ его разнообразными склѣнами, ручейками, поверхностью, растительностью и т. д. Результатъ сложнаго воздѣйствія всѣхъ этихъ факторовъ можетъ быть охарактеризованъ только путемъ *оцѣнки* общаго характера явленія, т. е. путемъ назначенія нѣкоторой *средней* для *всей* поверхности даннаго бассейна скорости стока.

Удачнымъ выборомъ средней скорости можетъ быть достигнуто достаточно вѣрное рѣшеніе задачи о наибольшемъ возможномъ расходѣ. Но въ особенно точномъ опредѣленіи этой скорости нѣтъ особой надобности, такъ какъ другіе факторы, входящіе въ рѣшеніе той же задачи о расходѣ воды, какъ напримѣръ, ψ , D , t , опредѣляются, какъ мы видѣли, лишь приблизительно.

Резюмируя, можно сказать что задача объ опредѣленіи расхода воды, выпадающей въ данномъ бассейнѣ настолько сложна, что совершенно не поддается точному учету, а лишь приблизительно оцѣнкѣ различныхъ входящихъ въ ея рѣшеніе факторовъ. При этомъ важно, чтобы всѣ характерныя мѣстныя особенности бассейна, оказывающія вліяніе на величину расхода, не остались внѣ разсмотрѣнія.

13. Практическія значенія коэффиціентовъ въ формулѣ для опредѣленія расхода воды. Въ §§ 7 и 8 были выведены формулы для опредѣленія расхода воды въ бассейнѣ, а именно:

а) для *малыхъ бассейновъ*, въ которыхъ къ сооруженію успѣваетъ за время ливня подойти вода со всего бассейна,

$$Q = \psi DF,$$

б) для *большихъ бассейновъ*, въ которыхъ одновременно подходит вода только съ нѣкоторой части F_{\max} бассейна F

$$Q = \psi DF_{\max}$$

или

$$Q = \varphi \psi DF,$$

гдѣ

$$\varphi = \frac{F_{\max}}{F}.$$

Въ болѣе полномъ видѣ эта формула можетъ быть представлена такъ:

$$Q = \frac{\psi Dt}{500} \times mv \times \frac{F}{L},$$

или

$$Q = A \times B \times \frac{F}{L}$$

гдѣ

$$A = \frac{\psi D t}{500}; \quad B = mv.$$

Опредѣлимъ теперь возможные численные значенія множителей A и B . Что касается перваго изъ нихъ

$$A = \frac{D \psi t}{500}$$

то для его опредѣленія надо задаться величинами D , ψ и t . Величина D зависитъ отъ принимаемой интенсивности ливня, а именно: (см. § 3).

Интенсивность ливня		Количество осадковъ въ куб. саж. на кв. версту D .	П Р И М Ъ Ч А Н І Е.
м/м. въ мин.	м/м. въ часъ.		
1	60	2	Для дорожныхъ сооружений, не требующихъ особаго запаса на размывъ.
1,66	100	3,3	Для желѣзнодорожныхъ и дорожныхъ сооружений, требующихъ запаса на размывъ.
5,0	300	9,8	Исключительное значеніе, для ливней чрезвычайной силы.

Величина ψ (см. § 6) можетъ быть:

$\psi = 0,15$ — для песчанаго, легко проникаемаго грунта, въ лѣсистой, ровной мѣстности;

$\psi = 0,25$ — для среднихъ условій.

$\psi = 0,35$ — для скалистаго, непроницаемаго грунта, при крутыхъ склонахъ и отсутствіи растительности.

Наибольшая продолжительность ливня t принята (см. § 4) въ 30 минутъ = $30 \times 60 = 1800$ сек.

Сопоставляя значенія D , ψ и t , получимъ, округленно:

Величина множителя $A = \frac{D\psi t}{500}$			
Для сооружений.	Для грунтовъ.		
	Проницаем. $\psi = 0,15.$	Среднее. $\psi = 0,25.$	Непрониц. $\psi = 0,35.$
Дорожныхъ $D=2$ (ливень 60 м/м. въ часъ)	1	1,75	2,5
Железнодорожныхъ $D=3,3$ (ливень 100 м/м въ часъ)	1,75	3	4

Вообще значенія A могутъ колебаться отъ 0,7 до 14. Для обычныхъ условий наиболѣе подходящими являются значенія 1,75 и 3,0

Множитель $B = mv$ зависитъ отъ средней скорости стеканія v и коэффицента m . Для скорости v (§§ 9 и 11) можно принять съ запасомъ:

$v = 0,20$ саж./сек., — пологіе склоны бассейна мало изрѣзаннаго ручьями,

$v = 0,40$ саж./сек., — среднія условия,

$v = 0,60$ саж./сек., — крутые склоны, бассейнъ сильно изрѣтъ оврагами и ручьями.

Что касается коэффицента m , то можно принять, что:

$m = 1$ — для бассейна прямоугольной формы,

$m = 1,5$ — для среднихъ условий,

$m = 2$ — для бассейна треугольной формы.

Исходя изъ этого получимъ, что

Величина множителя $B = mv.$				
Б А С С Е Й Н Ъ:	При скорости $v =$	Для $m =$		
		1,0	1,5	2,0
Съ пологими склонами, мало изрѣзанъ тальвегами	0,20 саж./сек.	0,2	0,3	0,4
Среднія условия	0,40 "	0,4	0,6	0,8
Съ крутыми склонами, сильно изрѣзанъ оврагами и ручьями	0,60 "	0,6	0,9	1,2

Такимъ образомъ среднее значеніе множителя

$$B = 1,5 \times 0,40 = 0,6.$$

Зная величины A и B въ разныхъ условіяхъ, можно перейти къ опредѣленію расхода Q .

1) Для среднихъ условій:

$$Q = A \times B \times \frac{F}{L} = 3 \times 0,6 \times \frac{F}{L} = 1,8 \frac{F}{L}.$$

2) Для особо благоприятныхъ условій—ровный, съ пологими склонами, прямоугольный бассейнъ, отсутствіе ручьевъ, песчаный грунтъ, много растительности, сооруженіе безъ запаса (дорожное):

$$Q = A \times B \times \frac{F}{L} = 1 \times 0,2 \times \frac{F}{L} = 0,2 \frac{F}{L}.$$

3) Для неблагоприятныхъ условій—скалистая почва, безъ растительности, крутые склоны, бассейнъ изрѣзанный ущельями и ручьями, треугольная форма, сооруженіе съ запасомъ (железнодорожное):

$$Q = A \times B \times \frac{F}{L} = 4 \times 1,2 \times \frac{F}{L} = 4,8 \frac{F}{L}.$$

Кромѣ вышеприведенныхъ типичныхъ условій, можетъ быть еще цѣлый рядъ промежуточныхъ случаевъ, которые характеризуются выборомъ коэффициентовъ A и B . Широкіе предѣлы, въ которыхъ колеблются численныя значенія величинъ A , B и Q вполне соответствуютъ дѣйствительному разнообразію различныхъ мѣстныхъ условій.

Для малыхъ бассейновъ $F_{\max} = F, \varphi = 1$ и поэтому $Q' = \psi DF$ (см. § 7). Только если длина бассейна L настолько велика, что за время ливня t вода не успѣетъ пройти длины бассейна, слѣдуетъ пользоваться формулой:

$$Q = A \times B \times \frac{F}{L}.$$

Условіе это, очевидно, можетъ быть выражено такъ:

$$Q < Q'$$

$$\frac{D\psi}{500} \times mv \times \frac{F}{L} < D\psi F$$

или

$$\frac{mct}{500 L} < 1, \quad L > \frac{mct}{500}.$$

Такъ какъ $t = 30 \times 60 = 1800$ сек., а $mv = B$, то формула

$$Q = A \times B \times \frac{F}{L}$$

должна применяться при

$$L > 3,6 B,$$

Такъ какъ $B = mv$ колеблется отъ 0,2 до 1,2, то

а) для малыхъ бассейновъ прямоугольной формы съ пологими скатами критическая длина $L = 0,2 \times 3,6 = 0,72$ версты,

б) для среднихъ условий

$$L = 0,6 \times 3,6 = 2,15 \text{ версты.}$$

в) для бассейновъ съ большой скоростью стока (крутые склоны) и треугольной формы

$$L = 1,2 \times 3,6 = 4,3 \text{ версты.}$$

Если L меньше указанного предѣла 3,6 B , то

$$Q = D\psi F.$$

При среднихъ условияхъ

$$D = 3,3, \psi = 0,25, Q = 0,8 F.$$

При особо благоприятныхъ условияхъ

$$Q = D\psi F = 1,95 \times 0,15 F = 0,3 F.$$

При неблагоприятныхъ условияхъ

$$Q = D\psi F = 3,3 \times 0,35 \times F = 1,14 F.$$

Для бассейновъ особенно крупныхъ, отъ 25 до 50 кв. верстъ слѣдуетъ учитывать неравномерное распространение ливня коэффициентомъ 0,8 (§ 5).

Всѣ вышеприведенныя формулы могутъ быть сопоставлены въ такой таблицѣ.

	Малые бассейны $L < 3,6 B.$	Среднія условия.	Большие бассейны $F = 25-50$ кв. вер.
Величина расхода Q куб. саж./сек.			
Особо благоприятныя условия. Пологие склоны, отсутствие ручьевъ, прямоугольная форма бассейна, песчаная, проницаемая почва, много растительности; сооруженіе безъ запаса	0,3 F	0,2 $\frac{F}{L}$	0,16 $\frac{F}{L}$
Среднія условия	0,8 F	1,8 $\frac{F}{L}$	1,5 $\frac{F}{L}$
Исключительно неблагоприятныя условия. Крутые склоны, бассейны треугольной формы, изрѣзанный ручьями и ущельями, скалистый, непроницаем. грунтъ, отсутствие растительности; сооруженіе съ запасомъ	1,14 F	4,8 $\frac{F}{L}$	3,8 $\frac{F}{L}$

Эта таблица может служить лишь для общей характеристики применяемых формул, в каждом частном случае лучше определять.

$D, \psi, m, v.$

14. Примеры определения расхода воды. Примеръ 1. Бассейн луговой съ очень пологими склонами и слабо выраженными тальвегами (фиг. 13).

Площадь $F=8,3$ кв. версты, длина $L=5,0$ версты. Сооружение можетъ быть безъ запаса.

По даннымъ § 13 можно положить $D=2$ куб. саж./сек. на кв. вер;

$$\psi = 0,25;$$

$$A = 1,75;$$

$$m = 1;$$

$$v = 0,3 \text{ саж./сек.};$$

$$B = 0,3.$$

Отсюда

$$Q = A \times B \times \frac{L}{F} = 1,75 \times 0,3 \times \frac{8,3}{5} = 0,875 \text{ куб. саж./сек.}$$

Примеръ 2. Бассейнъ съ крутыми склонами, прорѣзанный оврагами въ песчаномъ грунтѣ, (фиг. 14), площадь $F=0,20$ кв. в. $L=0,4$ версты. Требуется сооружение съ запасомъ.

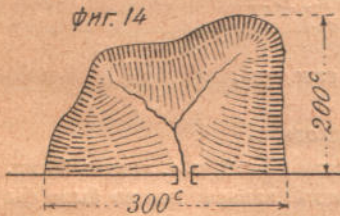
Расходъ слѣдуетъ вычислять по формулѣ

$$Q = D\psi F.$$

Полагая

$$D = 3,3 \text{ куб. саж./сек. на кв. вер.}$$

$$\psi = 0,20.$$



Получимъ

$$Q = 3,3 \times 0,20 \times 0,20 = 0,13 \text{ куб. саж./сек.}$$

Примеръ 3. Бассейнъ съ пологими склонами, но прорѣзанный сравнительно глубокими, ясно выраженными балками-тальвегами (фиг. 15). Почва песчаная, бассейнъ покрытъ лѣсомъ. Площадь $F=36$ кв. вер., длина $L=12$ в. Сооружение безъ запаса.

Пусть

$$D = 2 \text{ куб. саж./сек. на кв. вер.}$$

$$\psi = 0,15$$

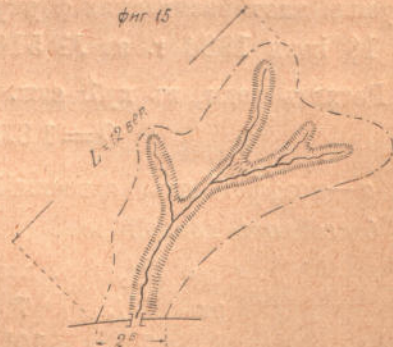
$$A = 1$$

Далѣе, въ виду суженія бассейна къ сооружению, можно принять

$$m = 2,$$

а въ виду стока воды, главнымъ образомъ, по ручьямъ, а не по скатамъ

$$v = 0,5 \text{ саж./сек.}$$



Отсюда

$$B = 2 \times 0,5 = 1.$$

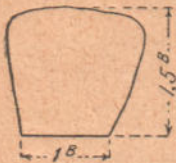
Такъ какъ $F > 25$ кв. вер., то слѣдуетъ принять еще коэффициентъ 0,8 неравнобѣрности распространянія ливня.

Тогда

$$Q = 0,8 \times A \times B \times \frac{F}{L} = 0,8 \times 1 \times 1 \times \frac{36}{12} = 2,4 \text{ куб. саж./сек.}$$

Примѣръ 4. Бассейнъ скалистый, безъ растительности, съ крутымъ склономъ, безъ всякихъ ясно выраженныхъ тальвеговъ (фиг. 16). Къ сооруженію бассейна замѣтно суживается. Площадь $F = 2,5$ кв. вер. Длина $L = 1,5$ версты. Запасъ не имѣется въ виду.

фиг. 16



Положимъ

$$D = 2 \text{ куб. саж./сек. на кв. вер.}$$

$$\psi = 0,35.$$

Такъ какъ бассейнъ малый, пользуемся формулой

$$Q' = D\psi F = 2 \times 0,35 \times 2,5 = 1,75 \text{ куб. саж./сек.}$$

Если бы мы воспользовались формулой

$$Q = A \times B \times \frac{F}{L}$$

то при

$$A = 2,5, m = 1,5, v = 0,4 \text{ саж./сек., } B = 0,6$$

получили бы

$$Q = 2,5 \times 0,6 \times \frac{2,5}{1,5} = 2,5 \text{ куб. саж./сек.,}$$

что больше 1,70 куб. саж./сек. и, поэтому, не подходитъ.

Во всѣхъ этихъ примѣрахъ, кромѣ 2-го, принято $D = 2$, т. е. ливень 60 мм. въ часъ. Для дорожныхъ сооружений, требующихъ запаса можно было бы принять $D = 3,3$ (100 мм. въ часъ) и, соотвѣтственно, увеличить результаты.

15. Сравненіе новой формулы съ формулой Кестлина. Въ Россіи наибольшее примѣненіе для опредѣленія величины расхода получила такъ называемая формула Кестлина (циркуляръ М. П. С. отъ 16 іюня 1884 г. за № 5167):

Расходъ воды, въ куб. саж. въ секунду

$$Q = 1,875 \times \alpha \times F$$

гдѣ α —коэффициентъ, зависящій отъ длины бассейна, а именно для бассейновъ длиной до

до $3\frac{1}{2}$ вер.	коэффициентъ $\alpha = \frac{1}{2}$
отъ $3\frac{1}{2}$ до 7	вер. $\alpha = \frac{3}{8} - \frac{1}{4}$
„ 7	„ $10\frac{1}{2}$ „ $\alpha = \frac{3}{16}$
„ $10\frac{1}{2}$	„ 14 „ $\alpha = \frac{1}{8}$
„ 14	„ $17\frac{1}{2}$ „ $\alpha = \frac{1}{16}$

Для бассейновъ, уклонъ которыхъ менѣе 0,005, коэффициентъ α можетъ быть уменьшенъ на половину.

Къ этой формулѣ вводились вполнѣдствіи различныя поправки. Такъ, проф. Николаи было предложено писать ее въ видѣ:

$$Q = 1,875 \times \alpha \times \beta \times F$$

гдѣ α имѣетъ прежнее значеніе, а коэффициентъ β измѣняется въ зависимости отъ уклона бассейна i , такимъ образомъ:

$$\begin{aligned} \text{при } i = 0,005 \quad \beta &= 1/2 \\ \text{„ } i = 0,008 \quad \beta &= 1 \\ \text{„ } i = 0,010 \quad \beta &= 1,3 \\ \text{„ } i = 0,05 \quad \beta &= 1,5. \end{aligned}$$

Для промежуточныхъ значеній i величина β опредѣляется интерполяціей.

Согласно постановленія Инженернаго Совѣта отъ 2 марта 1911 г. за № 26, коэффициенты α и β получили еще нѣсколько болѣе детальное толкованіе, а именно:

При длинѣ бассейна въ верстахъ $L = \dots$	$1/2$	1	2	3	$3 1/2$	7	$10 1/2$	14	$17 1/2$ и болѣе.
Коэффициентъ $\alpha = \dots$	1	$11/12$	$3/4$	$7/12$	$1/2$	$1/4$	$3/16$	$1/8$	$1/16$
При среднемъ уклонѣ бассейна.									
Уклонъ $i \dots$	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,007	0,010	0,05 и болѣе.	
Коэффициентъ $\beta = \dots$	$3/16$	$4/16$	$5/16$	$6/16$	$8/16$	$14/16$	1,3	1,5	

Для промежуточныхъ значеній β опредѣляется по интерполяціи.

Остановимся сначала на анализѣ формулы Кестлина въ ея первоначальномъ видѣ.

Предлагая въ 60-хъ годахъ прошлаго столѣтія свои нормы, Кестлингъ *) исходилъ изъ *единичнаго наблюденія* надъ ливнемъ въ горномъ округѣ Банатъ (въ районѣ трансильванскихъ Альпъ, около австро-сербской границы, недалеко отъ Бѣлграда). По на-

*) Кестлингъ, „Опредѣленіе отверстій искусственныхъ сооружений по площади бассейна“, Журн. Общества инженеровъ и архитекторовъ, Вѣна, 1868, стр. 83, а также у Лева: Ученіе о постройкѣ дорогъ. Висбаденъ, 1906, стр. 305.

блюденіямъ, этотъ ливень далъ около 0,016 мм. въ секунду (что составляетъ немного менѣе 1 мм. въ минуту, 0,96 мм.). Ливень продолжался всего 10 минутъ. Такая интенсивность ливня, какъ можно видѣть изъ данныхъ § 2 и § 4, не особенно велика. Количество воды D , выпадающей въ куб. саж. въ сек. на 1 кв. вер., при такой интенсивности будетъ:

$$D \text{ куб. саж./сек.} = \frac{0,016 \times 0,469 \times 500^2}{1000} = 1,875 \text{ куб. саж./сек. на кв. версту.}$$

Такимъ образомъ, коэффициентъ 1,875 въ формулѣ Кестлина есть ничто иное, какъ нѣкоторое частное значеніе величины D , входящей во всѣ наши формулы.

Въ подлинникѣ Кестлинъ пишетъ:

„Величина потерь на просачиваніе различна и зависитъ отъ характера почвы бассейна, отъ потерь на испареніе, отъ характера растительности. По существу этихъ явленій, точная оценка ихъ коэффициентами недостижима. Хагенъ принимаетъ, что стекаетъ по бассейну только $\frac{3}{7}$ всего количества выпавшей воды, т. е. немного менѣе половины. Повидимому, можно смѣло принять коэффициентъ $\frac{1}{2}$, не дѣлая особенно детальныхъ различій для почвы и растительности разныхъ бассейновъ. Только для голыхъ скалъ коэффициентъ этотъ, повидимому, слѣдуетъ повысить до $\frac{4}{7}$ “.

Такимъ образомъ Кестлинъ положилъ:

$$\psi = 0,50 \text{ для обыкновенныхъ условий.}$$

и $\psi = 0,57$ для скалъ.

Затѣмъ, исходя изъ основной величины интенсивности ливня въ $h = 0,016$ мм. въ сек. и коэффициента поглощенія $\psi = 0,50$, Кестлинъ принимаетъ долю осадковъ $h' = ah$, достигающихъ сооруженія:

Для бассейновъ длиной L .		Доля высоты осадковъ $h' = ah$ млнмм./въ сек.	Коэффициентъ α .
М и л ь.	В е р с т ь.		
Менѣе $\frac{1}{2}$	Менѣе $3\frac{1}{2}$	0,008	$\frac{1}{2}$
отъ $\frac{1}{2}$ до 1	отъ $3\frac{1}{2}$ до 7	0,006 — 0,004	$\frac{3}{8} - \frac{1}{4}$
отъ 1 до $1\frac{1}{2}$	отъ 7 до $10\frac{1}{2}$	0,003	$\frac{3}{16}$
отъ $1\frac{1}{2}$ до 2	отъ $10\frac{1}{2}$ до 14	0,002	$\frac{1}{8}$
болѣе 2	болѣе 14	0,001	$\frac{1}{16}$

Изъ этого видно, что Кестлиновскій коэффициентъ α есть ничто иное, какъ произведение коэффициентовъ поглощенія и стока, другими словами, при нашихъ обозначеніяхъ $\alpha = \psi\varphi$.

Но такъ какъ Кестлиномъ принято $\psi = 0,50$, то отсюда

$$\varphi = 1 \text{ для бассейновъ длин. до } 3^{1/2} \text{ вер.}$$

$$\varphi = 3/4 - 1/2 \text{ для басс. длин. отъ } 3^{1/2} \text{ до } 7 \text{ вер.}$$

$$\varphi = 3/8 \quad \text{ " " " " } 7 \text{ до } 10^{1/2} \text{ "}$$

$$\varphi = 1/4 \quad \text{ " " " " } 10^{1/2} \text{ до } 14 \text{ "}$$

$$\varphi = 1/8 \quad \text{ " " " " болѣе } 14 \text{ вер.}$$

Далѣе Кестлинь дѣлаеть слѣдующія существенныя оговорки:

1) „Для большихъ бассейновъ, имѣющихъ длину, или, вообще, наибольшій линейный размѣръ болѣе 21 верстъ (3 мили) предлагаемый способъ опредѣленія расхода непримѣнимъ. Ручьи длиной болѣе 21 версты принадлежать уже къ такимъ потокамъ, для опредѣленія величины расхода которыхъ имѣются другіе способы“.

2) „Приведенныя числа относятся только къ бассейнамъ въ горной мѣстности, съ большими уклонами. Для плоскихъ бассейновъ на пашнѣ или на лугу, можно, вслѣдствіе меньшей скорости стока, ограничиваться *половиной* указанныхъ высотъ осадковъ“.

Другими словами, для такихъ бассейновъ Кестлинь φ уменьшаетъ вдвое.

Значенія h' и соотвѣтственно φ , принятыя Кестлиномъ измѣняются почти обратно пропорціонально длинѣ бассейновъ. Можно съ достаточной точностью принять

$$\varphi = \frac{3,5}{L} \text{ для горныхъ бассейновъ}$$

$$\varphi = \frac{1,75}{L} \text{ для равнинныхъ бассейновъ}$$

гдѣ L длина бассейна въ верстахъ. Если сопоставить эти выраженія съ найденнымъ въ § 8

$$\varphi = \frac{mvt}{500} : L$$

то окажется, что Кестлиномъ принято

$$\frac{mvt}{500} = 3,5 \text{ вер. для горныхъ бассейновъ}$$

$$\frac{mvt}{500} = 1,75 \text{ вер. для равнинных бассейнов.}$$

Ограничимся, для сравненія, прямоугольными бассейнами, тогда $m = 1$; продолжительность ливня t принята Кестлиномъ въ 10 минутъ = 600 сек.

Подставляя эти величины получимъ

$$\frac{1 \times v \times 600}{500} = 3,5 \text{ для горнаго бассейна}$$

$$\frac{1 \times v \times 600}{500} = 1,75 \text{ для равнины}$$

откуда

$$v = 2,92 \text{ саж./сек. для горнаго бассейна}$$

$$v = 1,46 \text{ саж./сек. для равнины.}$$

Скорости эти чрезмѣрны. Можно считать, что при скорости выше 1 саж въ сек. начинается размывъ грунта, поэтому такихъ *среднихъ* скоростей, по всей площади бассейна, быть не можетъ.

Что Кестлинъ, указывая продолжительность ливня 10 минутъ, допустилъ именно такія скорости, можетъ быть повѣрено непосредственно. Для бассейна длиной до $3\frac{1}{2}$ версты Кестлинъ не принималъ замедленія стока ($\varphi = 1$), т. е. считалъ, что вся выпавшая въ бассейнъ вода (за исключеніемъ просачиванія) успѣетъ дойти до сооруженія, т. е. пройдетъ $3\frac{1}{2}$ версты = 1750 саж. за 10 минутъ = 600 сек.,—или $v = 2,92 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$

Въ виду явной абсурдности такихъ предположеній, возникаетъ вопросъ, какимъ образомъ формула Кестлина давала хотя и преувеличенныя, но все же достаточно правдоподобныя значенія, что подтверждается ея широкимъ примѣненіемъ на практикѣ въ теченіе десятковъ лѣтъ.

Происходитъ это потому, что Кестлинъ исходилъ изъ нѣкоторыхъ предположеній преувеличенныхъ, а нѣкоторыхъ преуменьшенныхъ, а именно:

1) интенсивность ливня Кестлинъ преуменьшилъ, взявъ ее немного менѣе 1 мм. въ сек., т. е. 57 мм. въ часъ, вмѣсто 100—120 мм. въ часъ.

2) продолжительность ливня значительно преуменьшилъ, взявъ ее 10 мин. вмѣсто 30 мин.

3) коэффициентъ поглощенія преувеличилъ, взявъ его $\psi = 0,50$ вмѣсто $\psi = 0,25$.

4) величину скорости стока v и коэффициентъ стока φ также преувеличилъ.

Вслѣдствіе такого преувеличенія однихъ множителей и уменьшенія другихъ, произведеніе ихъ заключаетъ въ себѣ меньшій % ошибки, чѣмъ каждый изъ множителей въ отдѣльности.

Однако, окончательные коэффициенты формулы Кестлина мы можемъ трактовать и въ нѣсколько иной формѣ, независимо отъ предположеній, принятыхъ самими Кестлиномъ, при ихъ выводѣ.

На самомъ дѣлѣ, въ формулѣ Кестлина коэффициентъ α можетъ быть замѣненъ произведеніемъ

$$\frac{1}{2} \times \frac{3,5}{L}$$

для горныхъ мѣстностей и

$$\frac{1}{2} \times \frac{1,75}{L}$$

для равнинныхъ.

Подставляя эти значенія, получимъ

$$Q = 1,875 \times \alpha \times F$$

или

$$Q = 1,875 \times \frac{3,5}{L} \times \frac{1}{2} \times F,$$

т. е.

$$Q = 3,3 \frac{F}{L} \text{ для горныхъ бассейновъ}$$

и

$$Q = 1,65 \frac{F}{L} \text{ для равнинныхъ мѣстностей.}$$

Въ такомъ видѣ формула Кестлина, въ сущности, является частнымъ видомъ нашей формулы

$$Q = \frac{D\psi t}{500} \times mv \times \frac{F}{L}.$$

Полагая $m = 1$ для прямоугольнаго бассейна и принимая, для среднихъ условий,

$$D = 3,26 \text{ куб. саж./сек.}$$

$$\psi = 0,25 \quad \frac{D\psi t}{500} = 2,93$$

$$t = 1800$$

получимъ

$$Q = 1,875 \times \frac{3,5}{L} \times \frac{1}{2} \times F = 2,93 \times 1 \times v \times \frac{F}{L}$$

отсюда, сокращая получимъ

$$3,3 = 2,93 v$$

или

$$v = 1,12 \text{ саж./сек. для горныхъ мѣстностей}$$

и

$v = 0,56$ саж./сек. для равнинных бассейновъ.

Скорости эти все же очень велики, что видно изъ сопоставленія ихъ съ указанными въ § 11.

Если эти среднія скорости 1,12 саж./сек. и 0,56 саж./сек. сравнить со скоростями 0,60 саж./сек., принятыми нами для бассейновъ съ крутыми склонами и 0,40 саж. для среднихъ условий, то увидимъ, что новая формула (5) должна давать величины въ $1\frac{1}{2}$ —2 раза меньше сравнительно съ Кестлинымъ.

Это подтверждается также примѣрами § 14.

Примѣръ 1. Бассейнъ луговой съ очень пологими склонами, слабо выраженными тальвегами. Площадь $F = 8,3$ кв. вер. Длина $L = 5,0$ версть. Сооруженіе можетъ быть безъ запаса.

По Кестлину для $L = 5,0$ в. $\alpha = 0,321$. Для пологого бассейна слѣдуетъ ввести коэффициентъ $\frac{1}{2}$.

$$Q' = 1,875 \times \frac{1}{2} \times 0,321 \times 8,3 = 2,5 \text{ куб. саж./сек.}$$

Что касается проектированія „безъ запаса“, то въ формулѣ Кестлина никакихъ указаній для этого нѣтъ. Въ практикѣ нѣкоторыхъ земствъ (напр., Кіевского) принято, однако, уменьшать въ такихъ случаяхъ Кестлиновскій расходъ вдвое.

При этомъ получится

$$Q'' = \frac{Q'}{2} = 1,25 \text{ куб. саж./сек.}$$

По новой формулѣ въ § 14 опредѣлено

$$Q = 0,875 \text{ куб. саж./сек.}$$

т. е. еще меньше.

Примѣръ 2. Бассейнъ съ крутыми склонами, прорѣзанный оврагами въ песчаномъ грунтѣ. Площадь $F = 0,20$ кв. вер. $L = 0,4$ вер.

По Кестлину для $L = 0,4$, $\alpha = \frac{1}{2}$

$$Q' = 1,875 \times \frac{1}{2} \times 0,20 = 0,19 \text{ куб. саж./сек.}$$

По новой формулѣ въ § 14 было опредѣлено для той же задачи

$$Q = 0,13 \text{ куб. саж./сек.}$$

Примѣръ 3. Бассейнъ съ пологими склонами, но прорѣзанный сравнительно глубокими, ясно выраженными балками—тальвегами. Почва песчаная бассейнъ покрытъ лѣсомъ. Площадь $F = 36$ кв. версть, длина $L = 12$ версть. Сооруженіе безъ запаса.

По формулѣ Кестлина для $L = 12$ в. $\alpha = \frac{1}{3} = 0,125$; учитывая пологость бассейна слѣдуетъ ввести коэффициентъ $\frac{1}{2}$.

$$Q' = 1,875 \times \frac{1}{2} \times 0,125 \times 36 = 4,2 \text{ куб. саж./сек.}$$

Если, въ виду отсутствія необходимости въ запасѣ, уменьшить расходъ вдвое, то получимъ

$$Q'' = \frac{Q'}{2} = 2,1 \text{ куб. саж./сек.}$$

По новой формулѣ въ § 14 расходъ опредѣленъ также въ размѣрѣ $Q = 2,4$ куб. саж./сек.

Примѣръ 4. Бассейнъ скалистый, безъ растительности, съ крутымъ ровнымъ склономъ, безъ всякихъ ясно выраженныхъ тальвеговъ; къ сооруженію бассейнъ суживается. Площадь $F=2,5$ кв. версты. Длина $L=1,5$ вер. Запасъ не имѣется въ виду.

По Кестлину для $L=1,5$ версты $\alpha=1/2$.

$$Q' = 1,875 \times 1/2 \times 2,5 = 2,35 \text{ куб. саж./сек.}$$

При отсутствіи запаса можно взять

$$Q'' = \frac{Q'}{2} = 1,18 \text{ куб. саж./сек.}$$

По новой формулѣ, въ § 14 мы опредѣлили

$$Q = 1,70 \text{ куб. саж./сек.}$$

Сопоставляя все эти примѣры, получимъ такіе результаты:

	Сооруженія съ запасомъ.		Сооруженія безъ запаса.	
	По Кестлину.	По новой формулѣ при $D=3,3$.	По Кестлину уменьшен. вдвое.	По новой формулѣ при $D=2$.
Примѣръ № 1 . . .	2,50	1,47	1,25	0,88
„ № 2 . . .	0,19	0,13	0,10	0,07
„ № 3 . . .	4,20	4,00	2,10	2,40
„ № 4 . . .	2,35	2,84	1,18	1,70

Изъ четырехъ примѣровъ, въ первыхъ двухъ расходъ по новой формулѣ значительно меньше, чѣмъ по Кестлину; въ третьемъ, при расчетѣ съ запасомъ, онъ одинаковъ, а въ четвертомъ нѣсколько больше. Однако, если мы обратимся къ бытовымъ условіямъ бассейновъ № 3 и № 4, то увидимъ, что они оба имѣютъ суживающуюся форму по направленію къ сооруженію, а бассейнъ № 4 имѣетъ, кромѣ того, крутые склоны, при отсутствіи тальвеговъ и скалистую почву, т. е. особо неблагоприятныя условія.

Изъ сопоставленія самаго хода рѣшенія этихъ примѣровъ, по новой формулѣ и по Кестлину, ясно видно, что въ кестлиновскомъ методѣ большая часть бытовыхъ условій не получаетъ никакого отраженія въ ходѣ вычисленій. Между тѣмъ, очевидно и безспорно, что скалистый бассейнъ долженъ дать другой расходъ, нежели песчаный, суживающійся чѣмъ прямоугольный и т. д.

Разсмотрѣніе этихъ примѣровъ является лишь частичной иллю-

страдіей тѣхъ общихъ недостатковъ, которыми страдаетъ формула Кестлина, а именно:

1. При опредѣленіи расхода по формулѣ Кестлина не учитывается цѣлый рядъ характерныхъ мѣстныхъ условий, оказывающихъ существенное вліяніе на величину расхода бассейна,

- а) интенсивность ливней въ данной мѣстности,
- б) почва бассейна,
- в) характеръ растительности,
- г) форма очертавія бассейна,
- д) валичіе, или отсутствіе прорѣзывающихъ бассейны тальвеговъ.

2. Исходныя положенія, принятыя самимъ Кестлиномъ, при исчисленіи коэффиціентовъ его формулы, крайне неудачны, именно—слабая интенсивность ливня, 57 мм. въ часъ, незначительное поглощеніе $\psi = 0,50$ и неудовлетворительный коэффиціентъ стока $\varphi = \frac{3,50}{L}$ для горныхъ бассейновъ и $\frac{1,75}{L}$ для равнинныхъ. Этотъ послѣдній коэффиціентъ соотвѣтствуетъ, при сохраненіи остальныхъ предположеній Кестлина, невозможнымъ скоростямъ стока 2,92 саж./сек. или 1,46 саж./сек. При исправленіи остальныхъ данныхъ, примѣнительно къ предположеніямъ новой формулы, все же получаются слишкомъ большія значенія скоростей—1,12 саж./сек. для горныхъ бассейновъ и 0,56 саж./сек. для равнинныхъ.

3. Вслѣдствіе такого неудачнаго и мало гибкаго подбора коэффиціентовъ, расходы, вычисляемые по Кестлину для среднихъ условий, оказываются преувеличенными, а для неблагоприятныхъ условий—скалистыхъ и крутыхъ бассейновъ, интенсивныхъ ливней и пр., наоборотъ, черезчуръ малыи.

Обратимся теперь къ поправкамъ формулы Кестлина, предложеннымъ проф. Николаи и разработаннымъ Инженернымъ Совѣтомъ М. П. С.

Съ поправками, формулѣ Кестлина дается видъ:

$$Q = 1,875 \times \alpha \times \beta \times F.$$

Что касается значеній коэффиціента α , то они представляютъ собой, въ сущности, экстраполяцію кестлиновскаго коэффиціента α въ предѣлахъ длины бассейна отъ $\frac{1}{2}$ версты до $3\frac{1}{2}$ версты, увеличивая кестлиновскій расходъ для бассейновъ малой длины. Мы

видѣли, впрочемъ, что для среднихъ условій кестлиновскій расходъ и безъ того великъ, поэтому эта экстраполяція коэффициента α въ сторону увеличенія, увеличиваетъ, повидимому, также и ошибку.

Такъ, полагая для $i = 0,008$, $\beta = 1$ мы получимъ, для $L = 1/2$ версты,

$$Q = 1,875 \times \alpha \times \beta \times F = 1,875 \times 1 \times 1 \times F = 1,875 F.$$

Сравнивая это съ нашей формулой для малыхъ бассейновъ

$$Q = D\psi F,$$

получимъ, что въ этомъ случаѣ

$$D\psi = 1,875 \text{ куб. саж./сек.}$$

Если мы положимъ $D = 3,26$ куб. саж./сек. (100 мм. въ часъ), то получимъ $\psi = 0,57$, что явно преувеличено не только для среднихъ условій, но даже и для скалы. Если же положимъ $\psi = 0,25$ то получимъ, что $D = 7,4$, что соотвѣтствуетъ интенсивности ливня $\frac{7,4}{1,95} = 3,75$ мм. въ минуту или 225 мм. въ часъ, что также можетъ быть только развѣ въ тропикахъ.

Далѣе, что касается коэффициента β , то онъ нѣсколько исправляетъ грубость принятаго ранѣе способа расчета по Кестлину, гдѣ для всѣхъ бассейновъ съ уклонами меньше 0,005 коэффициентъ α уменьшался сразу вдвое.

Въ новой таблицѣ величинъ β коэффициентъ этотъ измѣняется постепенно отъ $3/16$ до 1,5. Однако, въ практичности этой поправки на дѣлѣ приходится сомнѣваться. Поправка эта является функцией *средняго* уклона бассейна отъ водораздѣла до сооруженія. Для опредѣленія этой величины пришлось бы производить нивелировку по всей длинѣ бассейна, что, въ общемъ, должно удвоить или даже утроить протяженіе нивелировки по главной линіи. Въ бассейнахъ болотистыхъ, покрытыхъ лѣсомъ, или съ неубраннымъ еще хлѣбомъ, такая нивелировка практически встрѣтитъ много затрудненій. Слѣдуетъ замѣтить, что для пользованія коэффициентомъ β , средній уклонъ бассейна долженъ быть опредѣленъ довольно точно, именно съ точностью до 0,001. Это опять практически трудно выполнимо. Выборъ точки на водораздѣлѣ, соотвѣтствующей концу бассейна, является въ сущности дѣломъ произвольнымъ, такъ какъ

на водораздѣлѣ можетъ быть нѣсколько сѣделъ съ различными отмѣтками по высотѣ. Кромѣ того, иногда передъ самымъ сооруженіемъ можетъ быть исключительно сильное паденіе на короткой длинѣ (напр., въ размытомъ оврагѣ). Тогда, передвигая положеніе сооруженія, а вмѣстѣ съ тѣмъ и исходный пунктъ нивелировки на нѣсколько сажень вверхъ, или внизъ, по тальвегу, можно, въ довольно широкихъ предѣлахъ, измѣнять разность высотъ, а слѣдовательно уклонъ i , коэффициентъ β и самый расходъ Q , что, очевидно, абсурдно.

Принимая все это во вниманіе, можно сказать, что

4. Поправки коэффициентовъ α и β къ формулѣ Кестлина не устраняютъ основного недостатка этой формулы,—именно несоотвѣтствія ея дѣйствительному разнообразію мѣстныхъ условій (см. выше пунктъ 1), такъ какъ поправки касаются только длины и средняго уклона бассейна.

5. Поправка, касающаяся коэффициента α , не особенно удачна, такъ какъ для малыхъ бассейновъ увеличиваетъ и безъ того преувеличенную Кестлиномъ величину расхода для среднихъ условій.

6. Поправка, касающаяся коэффициента β непрактична, такъ какъ точное (до 0,001) опредѣленіе величины средняго уклона бассейна, въ дѣйствительности, встрѣчаетъ цѣлый рядъ затрудненій.

Въ силу всѣхъ перечисленныхъ въ пп. 1—5 недостатковъ, а также въ виду крайней устарѣлости положенныхъ въ основу формулы Кестлина наблюденій и предположеній, эту формулу давно бы слѣдовало оставить.

16. Сравненіе новой формулы съ другими формулами разныхъ авторовъ. Формула Кестлина получила у насъ почти исключительное примѣненіе. Однако, для полноты, упомянемъ также и о другихъ формулахъ и сравнимъ ихъ съ формулой (1) § 7, представляющей истинную величину расхода и съ предложеннымъ ея преобразованнымъ видомъ (формулы 5 и 5 bis, § 8).

Различныя формулы и нормы, предложенныя для опредѣленія расхода воды могутъ быть разбиты, по своему построенію, на двѣ группы.

I. Теоретическія формулы, выведенныя въ результатѣ теоретическаго разсмотрѣнія стока воды въ бассейнѣ—къ нимъ могутъ быть отнесены формулы Зброжека, Гербста, Майера и Беркли Цимера.

II. Эмпирическія нормы, дающія въ болѣе или менѣе опредѣленной формѣ расходъ воды въ куб. саж. съ кв. вер. Къ такимъ нормамъ принадлежатъ разсмотрѣнная выше формула Кестлина, а также нормы Лесле, барона Розена и др.

17. Формулы теоретическія. Формулы проф. Зброжека *). На основаніи детальнаго теоретическаго разсмотрѣнія условій стока въ бассейнахъ, проф. Ф. Г. Зброжекъ вывелъ слѣдующія формулы:

а) для малыхъ бассейновъ

$$Q = \varphi D \times \alpha \times 1,953 \frac{H}{T} \times \Omega = K_0 \alpha 1,953 \frac{H}{T} \times \Omega$$

здѣсь

φ — коэффициентъ измѣненія расхода отъ неравнобѣрной интенсивности дожда по площади,

D — коэффициентъ уменьшенія расхода отъ неравнобѣрной интенсивности по времени,

$$K_0 = \varphi D,$$

причемъ всегда

$$K_0 < 1.$$

H — средняя высота, въ миллиметрахъ, слоя дожда, выпавшаго за все время ливня

T — время продолжительности дожда въ минутахъ

Ω — площадь бассейна.

α — обозначаетъ то же, что у насъ ψ .

Сравнивая обозначенія проф. Зброжека съ обозначеніями, принятыми нами, получимъ, что $\frac{H}{T}$ есть средняя интенсивность дожда въ 1 минуту, а поэтому, согласно § 3

$$\frac{H}{T} = h = \frac{L}{1,953}$$

Откуда

$$1,953 \alpha \frac{H}{T} = D\psi.$$

Поэтому, замѣняя обозначеніе Ω черезъ F , и α черезъ ψ получимъ, что

$$Q = K_0 \alpha \times 1,953 \times \frac{H}{T} = K_0 \psi D F.$$

Такимъ образомъ, формула проф. Зброжека для малыхъ бассейновъ тождественна съ принятой нами формулой $Q = \psi D F$ и отличается отъ нея только добавленіемъ коэффициента неравнобѣрности

$$K_0 = \varphi D.$$

б) Для большихъ бассейновъ проф. Зброжекъ опредѣляетъ величину расхода по формулѣ

$$Q = C \times 1,953 \alpha U_0^2 T H$$

гдѣ α , T и H имѣютъ тѣ же значенія, что и прежде, а U_0 есть скорость стока воды. Формула эта можетъ быть преобразована такимъ образомъ

$$Q = C \times 1,953 \alpha \frac{H}{T} \times U_0^2 T^2$$

*) Проф. Ф. Г. Зброжекъ. Стокъ атмосферныхъ осадковъ. Журн. Мин. Пут. Сообщ. 1901 г., №№ 8 и 9 (см. также упомянутую выше работу Долгова, глава III, стр. 52).

или, приблизительно къ нашимъ обозначеніямъ

$$Q = C' D \psi v^2 \frac{t^2}{60^2} = D \psi C'' v^2 t^2$$

здѣсь

$$C'' = \frac{C'}{60^2}$$

Величина скорости опредѣляется проф. Зброжекомъ какъ

$$U_0 = KH \sqrt{i}$$

гдѣ i уклонъ бассейна.

Подставляя это значеніе скорости въ формулу

$$Q = 1,953 \alpha U^2 TH$$

получимъ

$$Q = CTH^3$$

гдѣ C есть коэффициентъ, которому проф. Зброжекъ даетъ различныя значенія.

Разсмотримъ формулу

$$Q = D \psi C'' v^2 t^2.$$

Въ этой формулѣ не входитъ площадь бассейна F . Однако, сравнивая ее съ формулой

$$Q = D \psi \varphi F = D \psi F_{\max},$$

получимъ, что, въ данномъ случаѣ,

$$C'' v^2 t^2 = F_{\max}$$

т. е. площадь стока принята пропорціональной квадрату пути стока vt за время ливня t . Этотъ принципъ можно усмотрѣть и въ подлинномъ выводѣ проф. Зброжека.

Въ нашихъ выводахъ мы приняли, что

$$F_{\max} = \frac{bvt}{500}$$

гдѣ b есть наибольшая ширина бассейна, причемъ

$$b = \frac{mF}{L}.$$

Проф. Зброжекомъ принято

$$F_{\max} = C'' v^2 t^2.$$

Это значить, что площадь стока взята не по всей ширинѣ бассейна, какъ принято нами, а только по нѣкоторой ограниченной ширинѣ $v't$, подобной ограниченной длинѣ $v''t$, причемъ

$$v't \times v''t = kv^2 t^2.$$

Другими словами, мы принимаемъ весь бассейнъ какъ бы односкатнымъ по направленію къ сооруженію, а проф. Зброжекомъ бассейнъ принять двускатнымъ по направленію къ нѣкоторому тальвегу, находящемуся посрединѣ. Это сравненіе даетъ возможность придти къ такому заключенію.

1) Принципъ построенія обѣихъ формулъ

$$Q = C' U^2 TH$$

и

$$Q = \frac{D\psi t}{500} \times m v \times \frac{F}{L}$$

одинъ и тотъ же, основанный на формулѣ

$$Q = D\psi F_{\max}.$$

2) Принятое проф. Зброжекомъ предположеніе о двускатности бассейна съ тальвегомъ посрединѣ—искусственно. Дѣйствительно, условія стока очень сложны и разнообразны и, замѣняя ихъ стокомъ съ нѣкоторой средней постоянной для всего бассейна скоростью v проще представлять схематически бассейнъ односкатнымъ, безъ тальвеговъ.

3) Наше предположеніе, что площадь стока расположена по всей наибольшей ширинѣ бассейна $b = \frac{mF}{L}$, а не только по ширинѣ $v't$, содержитъ въ себѣ большій коэффициентъ запаса.

Къ этому надо добавить, что Зброжекомъ не даны численные коэффициенты для его формулъ. Формула Зброжека приведена выше въ упрощенномъ видѣ, въ подлинномъ трудѣ проф. Зброжека отдѣльные коэффициенты получили весьма сложное алгебраическое развитіе, соответственно рассматриваемымъ имъ частнымъ случаямъ. Такой сложный видъ дѣлаетъ практическое примѣненіе формулъ не только затруднительнымъ но, можно сказать, фактически почти невозможнымъ.

18. **Формулы Гербета.** Въ своемъ изслѣдованіи расхода воды въ бассейнѣ *) Гербетъ рассматриваетъ стокъ осадковъ по плоскому прямоугольному бассейну. Явленіе стока дѣлится на три періода: 1) въ началѣ ливня,—возрастаніе глубины потока воды, стекающей черезъ данное сѣченіе, 2) достиженіе максимума глубины и 3) убываніе глубины, послѣ окончанія ливня.

Для перваго періода расходъ черезъ любое сѣченіе будетъ (сохраняя наши обозначенія),

$$Q = \omega \times v = 500b \times \Gamma \times v.$$

Если подставить

$$v = C \sqrt{\Gamma i}$$

(для широкаго прямоугольнаго сѣченія), то получится

$$Q = 500 b \times C \sqrt{i} \Gamma^{3/2} \dots \dots \dots (9)$$

Если замѣнить b черезъ $\frac{F}{L}$ и принять во вниманіе, что

$$\Gamma = \frac{D\psi t}{500^2}$$

то получимъ, что формула Гербета (9), въ сущности, тождественна съ нашей формулой (1)

$$Q = \frac{D\psi t}{500} \times v \times \frac{F}{L}$$

при $m = 1$ (для прямоугольнаго бассейна).

*) „Опредѣленіе соотношенія между количествомъ осадковъ въ рѣчномъ бассейнѣ и наибольшимъ количествомъ стекающей воды“, диссертация В. Гербета, Мюнхень, 1905.

Гербстъ отмѣчаетъ, что глубина стекающаго слоя воды зависитъ отъ времени t и разстоянія L отъ вершины бассейна, т. е., что

$$T = f(t, L)$$

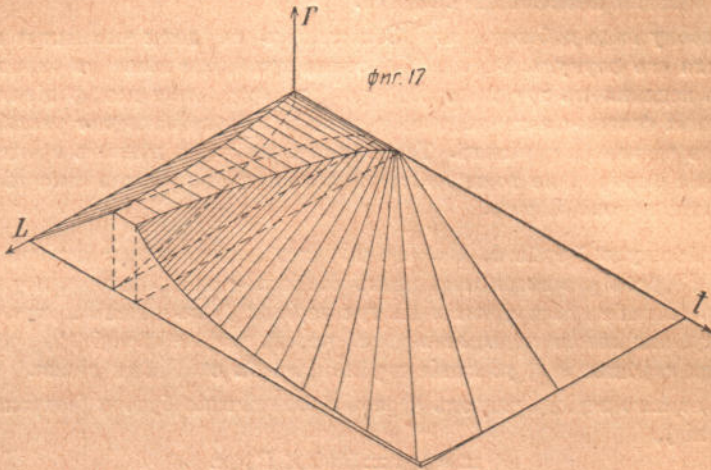
причемъ, путемъ интегрированія, получаетъ эту зависимость въ видѣ системы двухъ уравненій

$$\begin{cases} \Gamma \text{ саж.} = \frac{D\psi t}{500^2} \\ L \text{ верстъ} = \frac{500}{D\psi} C \sqrt{i} \Gamma^{3/2}. \end{cases}$$

Зависимость

$$\Gamma = f(t, L)$$

можетъ быть представлена въ видѣ нѣкоторой поверхности, отнесенной къ



прямоугольнымъ координатамъ Γ , t , L (фиг. 17), а указанная система двухъ уравненій представляетъ рядъ линій (фиг. 18), получающихся отъ пересѣченія этой поверхности плоскостями

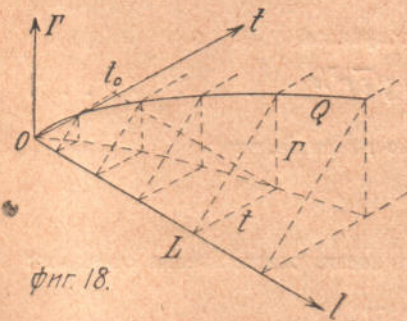
$$L = \text{const} \text{ и } t = \text{const}.$$

По этой поверхности можно опредѣлить для даннаго сѣченія, на разстоянїи L отъ вершины бассейна, глубину Γ , для любого момента t отъ начала ливня (фиг. 18).

Вся поверхность, (фиг. 17) для совокупности всѣхъ трехъ упомянутыхъ періодовъ — возрастанія, максимума и убыванія глубины стекающей воды, уясняетъ послѣ-

довательность явленія стока. Однако, практически, въ смыслѣ опредѣленія максимальнаго расхода, формулы Гербста не даютъ чего-либо новаго. Имъ не указано также численныхъ коэффиціентовъ; кромѣ того, при интегрированїи величина C , входящая въ выраженіе

$$v = C \sqrt{Gi}$$



принята постоянной, тогда какъ

$$C = f(I).$$

Заслуживаетъ вниманія приемъ, которымъ Гербстъ переходитъ отъ даннаго реального бассейна къ эквивалентному (по условіямъ стока) плоскому прямоугольному бассейну, наклонному подъ уклономъ i къ горизонту.

Сначала, слѣдую теоріи Финстервальдера *), Гербстъ опредѣляетъ средній уклонъ даннаго бассейна.

Пусть имѣется планъ бассейна въ горизонталяхъ, разстояніе между которыми по высотѣ $= e$ (напр. $e = 1$ саж.). Измѣримъ длины $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ отдѣльныхъ горизонталей въ предѣлахъ очертанія бассейна. Если сумма этихъ длинъ будетъ $\Sigma\gamma$, а площадь бассейна F_0 , то средній уклонъ i поверхности даннаго бассейна опредѣляется Финстервальдеромъ, какъ

$$i = \frac{e\Sigma\gamma}{F_0}.$$

Если составить рельефную карту даннаго бассейна въ видѣ наложенныхъ одинъ на другой пластовъ (фиг. 19), вырѣзанныхъ по горизонталямъ, то величина, стоящая въ числитель, представить сумму развернутыхъ проекцій всѣхъ вертикальныхъ уступовъ, а въ знаменателѣ стоитъ площадь горизонтальной проекціи всего бассейна, т. е. сумма площадей всѣхъ горизонтальныхъ уступовъ.

Чтобы замѣнить заданный бассейнъ эквивалентнымъ, — плоскимъ прямоугольнымъ, по Гербсту требуется, чтобы:

- 1) наклонъ β плоскости прямоугольника къ горизонтальной плоскости равнялся бы среднему уклону $tg\beta = i$ поверхности даннаго бассейна, опредѣленному какъ было указано выше;
- 2) площадь прямоугольника равнялась бы площади даннаго бассейна;
- 3) средняя высота плоскаго прямоугольника надъ горизонтомъ равнялась бы средней высотѣ h даннаго бассейна (частному отъ дѣленія объема бассейна на горизонтальную проекцію его поверхности).

Изъ этихъ условій опредѣляются: длина эквивалентнаго прямоугольника

$$L = \frac{2h}{\sin\beta}$$

ширина

$$b = \frac{Ftg\beta}{2h}$$

Какъ и относительно поверхности $\Gamma = f(L, t)$, можно и въ этомъ случаѣ сказать, что введеніе понятій средняго уклона и эквивалентнаго прямоугольника полезно для уясненія характера топографіи бассейна. Но для практическихъ цѣлей эти приемы не подходящи. Прежде всего, составленіе плана въ горизонталяхъ для каждаго бассейна потребовало бы много работы. Но и

*) Финстервальдеръ, „О среднемъ уклонѣ и о дѣйствительной площади топографической поверхности“, труды Мюнхенской академіи наукъ по физико-математическому отдѣлу, томъ XX, 1890 г.

располагая такими планами, мы все-таки не учли бы дѣйствительнаго распределенія скоростей стока. Въ дѣйствительности, значительная часть стока происходит не только по склонамъ, а еще по ручьямъ, скорость въ которыхъ зависитъ кромѣ уклона и отъ глубины потока.

Далѣе, въ развѣтвленномъ большомъ бассейнѣ, отдѣльныя его части могутъ имѣть разнообразный режимъ стока, почему замѣна ихъ всѣхъ однимъ прямоугольникомъ неудобна.

Поэтому, для практики удобнѣе предложенный выше, въ пар. 12, приемъ, по которому для всего бассейна, или для отдѣльныхъ его частей, задаются фронтными средними скоростями стока и отсюда опредѣляютъ площадь стока $F_0 = \varphi F$. Трудность довести практически предложенный Гербстомъ методъ до конечнаго результата, повидимому, заставила его въ концѣ статьи опредѣлить наибольшій возможный расходъ, какъ

$$Q = D\psi F,$$

что, правда, обходитъ трудность вопроса объ опредѣленіи основнаго коэффициента φ , но зато сводитъ все разсужденіе къ нулю, полагая съ излишнимъ запасомъ $\varphi = 1$.

19. Формула Майера. Въ Америкѣ, для малыхъ сооружений, получила распространеніе формула Майера *).

$$A = M \sqrt{F}$$

гдѣ A площадь живого сѣченія потока подъ мостомъ, въ кв. саж.

F — площадь бассейна въ кв. вер.

M — коэффициентъ равный —

M_1 — для степной мѣстности = $1/3$.

M_2 — „ холмистой „ = $1/2$.

M_3 — „ гористой „ = $4/3$.

т. е.

$$M_1 : M_2 : M_3 = 1 : 1,5 : 4.$$

Въ зависимости отъ рода грунта, интенсивности осадковъ и пр., коэффициенту M могутъ быть приданы также промежуточныя значенія.

Въ этой формулѣ входитъ площадь живого сѣченія A . Очевидно, расходъ

$$Q = Av_0 = Mv_0 \sqrt{F}$$

гдѣ v_0 — скорость прохода воды подъ сооруженіемъ.

По своему простому виду, формула Майера могла бы быть отнесена къ числу эмпирическихъ. Однако, при ближайшемъ разсмотрѣніи, ея построеніе можетъ быть объяснено теоретически, какъ частный видъ формулы

$$Q = D\psi\varphi F.$$

Въ самомъ дѣлѣ, выше, въ пар. 8, нами была получена формула

$$Q = \frac{D\psi t}{500} \times kv \times \sqrt{F} \dots \dots \dots (5 \text{ bis})$$

Подставимъ

$$v = C \sqrt{Fi} = C \sqrt{\frac{D\psi t}{500^2} \times i} = \frac{C \sqrt{i}}{500} \sqrt{D\psi t},$$

*) См. Baker. A treatise on masonry construction, New York, 1910.

(что вѣрно, если подъ v и i подразумѣвать нѣкоторыя среднія для всего бассейна). Тогда получается

$$Q = \frac{D\psi t}{500} \times kv \times \sqrt{F} = \frac{(D\psi t)^{3/2}}{500^2} \times C_m \sqrt{\frac{bi}{L}} \times \sqrt{F}.$$

Сравнивая это съ формулой Майера

$$A = \frac{Q}{v_0} = M \sqrt{F}$$

получимъ, что коэффициентъ Майера

$$M = \frac{(D\psi t)^{3/2}}{500^2} \times \frac{C_m}{v_0} \sqrt{\frac{bi}{L}}.$$

Это выраженіе указываетъ на характеръ коэффициента M

$$M = f(D, t, \psi, b, L, m, i, v_0)$$

который зависитъ отъ характера ливней (D, t), почвы (ψ), конфигураціи бассейна (b, L, m), крутизны его склоновъ (i) и, наконецъ, скорости прохода воды въ сооруженіи v_0 .

Такимъ образомъ, формула

$$A = M \sqrt{F}$$

есть ни что иное, какъ упрощенный видъ общей формулы

$$Q = D\psi\varphi F.$$

Недостатокъ формулы Майера заключается въ томъ, что коэффициентъ M приходится произвольно выбирать въ слишкомъ широкихъ предѣлахъ, причемъ зависимость его отъ цѣлага ряда переменныхъ (мѣстныхъ условій) не имѣетъ явнаго выраженія въ формулѣ.

20. Формулы типа Беркли-Циглера. Въ 1878 году инженеръ Беркли-Циглеръ предложилъ для расчетовъ канализаціонныхъ водостоковъ *) пользоваться формулой

$$\varphi = \frac{B}{\sqrt[4]{F}}$$

(гдѣ B постоянная величина).

Это выраженіе даетъ меньшее замедленіе стока, сравнительно съ принятымъ Майеромъ

$$\varphi = \frac{B'}{\sqrt{F}},$$

а расходъ возрастаетъ нѣсколько быстрѣе

$$Q = D\psi\varphi F = B D \psi \frac{F}{\sqrt[4]{F}} = B D \psi F^{3/4}.$$

На этомъ принципѣ построенъ цѣлый рядъ формулъ, примѣняемыхъ въ

*) См. проф. В. Ф. Ивановъ, Канализація населенныхъ мѣстъ, Кіевъ, 1911 г.

Америкѣ для опредѣленія расхода. Ограничимся перечисленіемъ вида нѣкоторыхъ изъ нихъ *).

Будемъ обозначать черезъ

F — площадь бассейна.

D — количество осадковъ съ кв. вер.

i — средній уклонъ бассейна.

A — площадь живого сѣченія подь мостомъ.

M, B — коэффициенты, зависящіе отъ мѣстныхъ условий.

Q — расходъ воды.

1) Формула Тальбота

$$A = MF^{3/4}$$

(напоминаетъ Майеровскую $A = MF^{3/2}$).

2) Формула Шамье

$$Q = BD\psi F^{3/4}$$

(формула эта—развитіе формулы Беркли-Циглера).

3) Формула Дикенса

$$Q = MF^{3/4}$$

(отличается отъ Тальбота введеніемъ расхода Q , вмѣсто живого сѣченія $A = \frac{Q}{v_0}$)

4) Геринга

$$\frac{Q}{F} = BD\psi \sqrt[4]{\frac{i}{F}}$$

или

$$Q = BD\psi \sqrt[4]{iF^{3/4}}$$

(отличается отъ Беркли-Циглера и Шамье введеніемъ множителя $\sqrt[4]{i}$)

Численные коэффициенты въ этихъ формулахъ различны, всѣ они, однако, исходятъ изъ принципа

$$\varphi = \frac{B}{\sqrt[4]{F}}$$

По наблюденіямъ въ Америкѣ результаты опредѣленія расхода по формуламъ этого типа получаются болѣе близкіе къ истинѣ, сравнительно съ принципомъ Майера

$$\varphi = \frac{B}{\sqrt{F}}$$

Въ общемъ, однако, допущеніе

$$\varphi = \frac{B}{\sqrt[4]{F}}$$

*) Paul, Manual of Road Construction, Chatham, 1908.

довольно произвольно. Въ последнее время, въ канализациі принято обобщеніе

$$\varphi = \frac{B}{\sqrt[n]{F}}$$

соотвѣтственно чему

$$Q = MF^{\frac{n-1}{n}}$$

причемъ для плоскихъ мѣстностей берутъ $n=4$, для гористыхъ $n=6$, $n=5$ занимаетъ промежуточное значеніе

21. Числовыя эмпирическія нормы для опредѣленія расхода. Цѣлый рядъ авторовъ даетъ различныя нормы расхода на единицу площади бассейна, т. е., въ сущности, принимаетъ формулу вида

$$Q = MF.$$

Такой приемъ является какъ бы окончательнымъ упрощеніемъ обобщенной формулы Беркли Циглера

$$Q = MF^{\frac{n-1}{n}}, \varphi = \frac{B}{\sqrt[n]{F}} = BF^{-\frac{1}{n}} = BF^0 = B = const = \varphi_0$$

причемъ

$$\varphi_0 \leq 1.$$

При заданіи такихъ нормъ, очевидно, принимается, что

$$M = \frac{Q}{F} = D\psi\varphi_0 = const.$$

Предположеніе это въ корнѣ неправильно, ибо нельзя считать постоянной величину коэффициента стока φ_0 и, тѣмъ болѣе, произведеніе трехъ множителей $D\psi\varphi_0$.

Поэтому многіе авторы даютъ свои нормы въ видѣ таблицъ, съ подраздѣленіемъ бассейновъ по площади, крутизнѣ склоновъ, непроницаемости почвы и т. д., т. е. съ переменными ψ и φ_0 .

Перечислимъ нѣкоторыя изъ этихъ нормъ, съ переводомъ указаннаго въ нихъ расхода на 1 куб. саж./сек. съ 1 кв. в.

(1 куб. мет. въ сек./съ 1 кв. килом. = 0,117 куб. саж. въ сек./съ 1 кв. вер.).

а) Нормы Лесле.

ХАРАКТЕРЪ МѢСТНОСТИ.	Площадь бассейна F'	
	1—5 кв. вер.	5—10 кв. вер.
	Расходъ воды съ 1 кв. версты:	
Равнинная	0,06 куб. саж./сек.	0,04 куб. саж./сек.
Холмистая	0,18 " "	0,12 " "
Гористая	0,28 " "	0,18 " "

Нормы эти очень малы. Считая ливень всего 60 мм. въ часъ (т. е., приблизительно, кестлиновскій),

$$D = 1,95 \text{ куб. саж./кв. вер. } \psi = 0,25$$

получимъ

$$D\psi = 0,49$$

отсюда φ_0 по Лесле

для равнинной мѣстности	$\varphi_0 = 0,13 - 0,06$
„ холмистой	„ $\varphi_0 = 0,37 - 0,18$
„ гористой	„ $\varphi_0 = 0,48 - 0,37$

Полагая

$$\varphi = \frac{mvt}{500} \times \frac{1}{L}$$

примемъ $m = 1$, $t = 1800$ и $L = 3$ (при $F = \infty 5$). Тогда

$$v = \frac{3 \times 500}{1800} \varphi_0 = 0,8 \varphi_0.$$

Получимъ скорости для мѣстности

равнинной	$v = \infty 0,10$ саж./сек.
холмистой	$v = \infty 0,30$ „
гористой	$v = \infty 0,40$ „

что меньше предположенныхъ нами (въ пар. 13) 0,20, 0,40 0,60 саж./сек.

б) Нормы Лаутербурга, предложенныя для Швейцаріи *).

МѢСТНОСТИ.	Наибольшій возможный расходъ воды въ куб. саж. въ сек. съ 1 кв. версты.								
	Непроницаемая почва.			Средняя прои-цаемость.			Сильно пропускающая воду почва.		
	Уклоны мѣстности								
	крут.	сред.	полог.	крут.	сред.	полог.	крут.	сред.	полог.
I. Альпійскій поясъ.									
1) Глетчеры, морены, густой лѣсъ, вообще задерживающая воду мѣстность	0,22	0,19	—	0,19	0,15	—	0,15	0,12	—
2) Культурныя земли, частью рѣдкій лѣсъ	0,25	0,22	—	0,22	0,19	—	0,19	0,15	—
3) Луга	0,29	0,26	—	0,26	0,22	—	0,22	0,19	—
4) Голыя скалы	0,30	0,27	—	0,27	0,23	—	0,23	0,20	—
II. Холмистая и равнинная мѣстность.									
1) Лѣсъ, мѣстность покрытая каменными осыпями, песчаная мѣстность	—	0,18	0,15	—	0,14	0,12	—	0,11	0,08
2) Пашня и рѣдкій лѣсъ	—	0,21	0,19	—	0,18	0,15	—	0,14	0,12
3) Луга	—	0,25	0,22	—	0,21	0,19	—	0,18	0,15
4) Скалы, (въ низменности рѣдко).	—	0,26	0,23	—	0,23	0,20	—	0,19	0,17

*) См. календарь Рейнгарда для инженеровъ по дорожнымъ и гидротехническимъ сооруженіямъ.

Въ этой таблицѣ обращаетъ вниманіе детальное подраздѣленіе характера бассейна. Лаутербургъ различаетъ коэффициенты ψ не только съ точки зрѣнія проницаемости грунта (горизонтальн. графа), но еще и по степени задерживанія воды на поверхности (вертикальн. графа).

Однако, въ этихъ нормахъ совершенно нѣтъ вліянія величины бассейна и его формы на коэффициентъ стока φ , который предполагается постояннымъ.

Что касается размѣра самыхъ нормъ, то вообще онѣ для холмистой и равнинной мѣстности, приблизительно, раза въ 2 болѣе нормъ Лесле.

Беря, напр., для среднихъ условій мѣстности

$$D\psi\varphi = 0,20$$

и полагая

$$\psi = 0,25, \varphi = 0,40$$

получимъ

$$D \approx 2 \text{ куб. саж./сек.}$$

т. е. ливень около 1 мм. въ минуту. За неимѣніемъ данныхъ относительно величины бассейна и коэффициента φ эта величина D является, конечно, гадательной.

в) **Нормы инженера Пущечникова** *), выведенныя въ 1883 году изъ наблюденій подпоровъ передъ трубами Московско-Курской жел. дор.

Площадь бассейна кв. верст.	Расходъ въ куб. саж. съ 1 кв. версты.	
	Пологіе скаты.	Крутые скаты.
Менѣе 5	0,55	0,70
5—10	0,50	0,65
10—20	0,40	0,55
20—30	0,30	0,45

Бассейномъ съ пологими склонами Пущечниковъ считаетъ такой, $\frac{1}{3}$ поверхности котораго имѣетъ скаты $< 0,003$.

Нормы эти соответствуютъ сильному ливню. Задаваясь

$$\psi = 0,25, v = 0,40 \text{ саж./сек.}$$

$$F = 10 \text{ кв. вер.}, L \approx 3 \text{ вер.}, \varphi = \frac{0,40 \times 1800}{500} \times \frac{1}{3} = 0,48$$

$$\psi\varphi = 0,25 \times 0,48 = 0,12,$$

получимъ для $F = 10$ верст., $\frac{Q}{F} = 0,50$

$$D = \frac{0,50}{0,12} = 4,16 \text{ куб. саж./сек. кв. вер.},$$

что соответствуетъ ливню 2,1 мм. въ минуту, т. е. $\infty 130$ мм. въ часъ

Нормами не учитывается вліяніе длины бассейна, а также характера почвы, растительности и проч.

*) См. Н. Е. Долговъ. О нормахъ Кестлина и проч.

г) Нормы барона Розена. Въ 5-мъ изданіи своего руководства *) баронъ Розенъ предлагаетъ слѣдующія новыя нормы для опредѣленія расхода воды въ ложбинахъ, ручейкахъ и рѣчкахъ.

Длина бассейна L верстѣ	Расходъ въ куб./сaj. Q/F на 1 кв. вер.
отъ 16—8	$0,03 + (16 - L) 0,00125$
„ 8—4	$0,04 + (8 - L) 0,005$
„ 4—2	$0,06 + (4 - L) 0,03$
„ 2—1	$0,12 + (2 - L) 0,12$

Баронъ Розенъ дѣлаетъ оговорки:

1) „Нормы этой таблицы относятся только къ равнинѣ и подлежатъ увеличенію въ мѣстности холмистой, или гористой, причеъ для соображеній могутъ служить нормы Лесле“.

2) „При выработкѣ таблицы принята во вниманіе только длина бассейна. Другія же условія, напримѣръ, особо сильныя въ горахъ ливни, качество почвы, родъ растительности, кустарникъ, или трава и пр. могутъ приниматься во вниманіе въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ, по изученію мѣстныхъ условій“.

Если подставить въ формулы барона Розена указанныя имъ длины, то получимъ слѣдующую упрощенную таблицу:

Длина бассейновъ L	Расходъ съ 1 кв. версты Q/F
16 верстѣ	0,03 куб. саж./сек.
8 „	0,04 „ „ „
4 „	0,06 „ „ „
2 „	0,12 „ „ „
1 „	0,24 „ „ „

Если положить интенсивность ливня 1 мм. въ минуту и $\psi = 0,25$, то, напр. для $L = 4$ вер. получимъ

$$q = \frac{Q}{L\psi} = \frac{0,06}{1,95 \times 0,25} = 0,12$$

откуда

$$v = \frac{qL \times 500}{1800} = 0,13 \text{ саж./сек.}$$

Поэтому формулы эти даютъ малыя величины расхода по сравненію съ другими нормами.

22. Общія выводы изъ сопоставленія различныхъ формулъ и нормъ съ предлагаемой новой формулой. Сопоставленіе приведенныхъ теоретиче-

*) Баронъ Г. В. Розенъ. Руководство при устройствѣ и содержаніи земскихъ дорогъ. Петроградъ, 1908 г., стр. 39.

скихъ формулъ и практическихъ нормъ даетъ возможность придти къ такимъ заключеніямъ:

1. Формула

$$Q = D\psi\varphi F,$$

а также ея видоизмѣненія

$$Q = \frac{D\psi t}{500} \times mv \times \frac{F}{L}$$

и

$$Q = \frac{D\psi t}{500} \times kv \times \sqrt{F}$$

представляютъ собой обобщеніе всѣхъ формулъ и нормъ, предлагавшихся для опредѣленія расхода и даютъ возможность критически разобрать каждую изъ послѣднихъ въ отдѣльности.

2. Часть формулъ и нормъ (Кестлина, Лесле, Пушечникова и др.) не учитываютъ всѣхъ явленій стока (проницаемости почвы, вліянія топографіи бассейна и пр.) и въ своихъ числовыхъ коэффициентахъ исходятъ изъ единичныхъ случаевъ, давая имъ распространительное значеніе.

3. Другая группа формулъ (напр., Зброжека и Гербста), построена на чисто теоретическихъ соображеніяхъ о стокаѣ по идеальнымъ поверхностямъ, что не вполне отвѣчаетъ реальнымъ условіямъ стока, происходящаго не только по скатамъ, но и по ручьямъ. Кроме того, у авторовъ этой группы отсутствуютъ указанія на численныя значенія различныхъ коэффициентовъ, что необходимо для практики.

4. Третья группа формулъ (Майера, Беркли Циглера) заключаетъ въ себѣ слишкомъ мало ясно выраженныхъ переменныхъ, почему немногіе коэффициенты (напр. M у Майера), а вмѣстѣ съ тѣмъ и весь расчетъ, остаются въ значительной степени произвольными для каждаго частнаго случая.

5. Сопоставленіе различныхъ нормъ даетъ матеріалъ для оцѣнки численныхъ коэффициентовъ, входящихъ въ новую формулу. Для сооружений, не требующихъ особаго запаса, повидимому, можно ограничиться значеніемъ

$$D = 2 \text{ куб. саж. въ сек./съ кв. версты,}$$

и скоростью $v = 0,20 - 0,30$ саж./сек.

Дальнѣйшій опытъ сможетъ дать предѣлы для D , ψ , v , въ зависимости отъ мѣстныхъ условій.

23. Расходъ при таяніи снѣга. Въ началѣ (§ 1) говорилось что для центра и сѣвера Россіи наибольшій расходъ имѣетъ мѣсто не отъ ливней, а отъ совпаденія быстраго таяніа снѣга съ дождемъ. Опредѣленіе такого расхода является вообще трудной задачей, однако можно попытаться подойти къ ея рѣшенію на основаніи нѣкоторыхъ метеорологическихъ данныхъ. Прежде всего отмѣтимъ, что, въ этомъ случаѣ, въ формулѣ

$$Q = D\psi\varphi F$$

можно положить $\varphi = 1$, такъ какъ максимумъ расхода будетъ имѣть мѣсто при таяніи снѣга и длительномъ дождѣ въ теченіе нѣсколькихъ часовъ.

Далѣе, величину ψ можно положить $= 0,80$, такъ какъ оледѣлая земля можетъ считаться непроницаемой, задерживающей растительности (за исключеніемъ хвойнаго лѣса) въ это время нѣтъ. Лишь небольшая часть воды можетъ оставаться до теплаго времени въ видѣ лужъ, или, по мѣрѣ оттаиванія, напитывать верхній слой земли и впослѣдствіи просачиваться или испаряться.

Если $\varphi = 1$, $\psi = 0,8$, то

$$Q = 0,8 DF$$

Количество воды D будетъ при этомъ получаться:

а) отъ таянія снѣга D_1 , б) отъ дождя D_2 , такъ что

$$Q = 0,8 (D_1 + D_2) F.$$

Снѣжный покровъ *) на югѣ (Астраханская губ.) и западѣ начинается таять въ первыхъ числахъ марта; въ центрѣ (Московская губ.)—въ концѣ марта и на сѣверѣ (Архангельская, Пермская губерніи)—къ началу мая. Наибольшей толщины покровъ достигаетъ къ концу февраля, незадолго до таянія.

Толщина эта составляетъ, въ среднемъ, въ центрѣ не болѣе 0,40—0,50 метр. и только на крайнемъ сѣверо-востокѣ (Пермская, Вологодская, Архангельская губ.) достигаетъ 0,70 метр. Однако, въ каждомъ отдѣльномъ бассейнѣ могутъ быть большія колебанія относительно этой средней. Въ балкахъ, около лѣсовъ, усадьбъ, толщина снѣга иногда превосходитъ 1,0—1,2 метра.

Плотность снѣга измѣняется съ его возрастомъ. Свѣже-выпавшій снѣгъ на 1 см. толщины покрова даетъ при таяніи около 1 мм. воды. Слежавшійся снѣгъ можетъ дать до 4—5 мм. воды на 1 см. слоя, т. е. плотность доходить до 0,4—0,5.

Такимъ образомъ, задаваясь, напр., толщиной покрова 50 см. и средней плотностью 0,2—0,3, получимъ слой воды около 100—150 мм. Такая высота приблизительно совпадаетъ съ общимъ количествомъ осадковъ за зимніе мѣсяцы.

По даннымъ Гейнца **) болѣе 150 мм. въ году выпадаетъ на

*) См. Бергъ. Наблюденія надъ снѣжнымъ покровомъ Россійской Имперіи. Петроградъ, 1893.

**) Е. А. Гейнцъ. Объ осадкахъ, количествѣ снѣга и объ испареніи на рѣчныхъ бассейнахъ Европейской Россіи, Петроградъ, 1898. (Труды экспедиціи генерала Тилло).

востокѣ, въ средней Россіи, на озерахъ и въ Финляндіи. На средней Волгѣ количество выпавшаго въ году снѣга превосходитъ 175 мм., на средней Камѣ почти достигаетъ 200 мм. На сѣверѣ и западѣ и къ югу (до Екатеринослава—Саратова) оно составитъ 100 мм., далѣе къ югу, къ берегамъ Чернаго моря и устья Волги, высота снѣговыхъ осадковъ менѣе 50 мм.

Таяніе снѣга происходитъ въ теченіе нѣсколькихъ сутокъ, почти исключительно въ 4—6 солнечныхъ часовъ.

Соотвѣтствующее количество воды отъ таянія въ секунду будетъ для слоя, толщиной 100 м/м.

$$D_1 = \frac{100 \text{ мм.}}{N \times 6} \times \frac{3,26}{100} = \frac{0,54}{N} \text{ куб. саж. въ сек./съ кв. версты,}$$

гдѣ N число дней таянія, а 3,26—коэффициентъ, соотвѣтствующій интенсивности 100 мм. въ часъ (см. § 3).

Относительно величины N наблюденій пока мало. Можно считать, что $N = 1—2$ днямъ въ наиболѣе неблагопріятныхъ условіяхъ.

Изъ наблюденій надъ образованіемъ и таяніемъ снѣгового покрова особый интересъ представляютъ данныя Оршинской и Раменской метеорологическихъ и гидрометрическихъ станцій *) Отдѣла земельныхъ улучшеній Г. У. З. и З. На Оршинской станціи (Тверской губер.) были въ 1910 году наблюденны слѣдующія данныя:

	15 Января.	15 Февраля.	9 Марта.	15 Марта.	22 Марта.	27 Марта.	31 Марта.
Средняя глубина снѣга въ сантиметрахъ	48,4	58,7	44,3	50,0	43,6	31,2	4,0
Плотность снѣга	0,185	0,237	0,329	0,335	0,362	0,354	0,307
Высота соотвѣтствующаго слоя воды въ миллиметрахъ	90	139	156	178	178	142	150
То же, безъ слоя подснѣговой воды, въ миллиметрахъ	90	139	146	168	158	110	12

Наблюденія эти велись на снѣгомѣрной линіи, расположенной

*) Р. Спарро и А. Дубахъ.осушеніе болотъ открытыми канавами Москва, 1912, стр. 269 и слѣд.

въ мелкомъ густомъ лѣсу; на полянѣ высота покрова была нѣсколько меньше.

Плотность снѣга увеличивалась по мѣрѣ таянія, наибольшая ея величина была 27 марта на полянѣ и равнялась 0,388, наименьшая 15 января въ лѣсу—0,176.

Что касается *быстроты таянія снѣга*, то она, кромѣ приведенной таблицы, можетъ быть характеризована слѣдующими цифрами:

	Съ 15 февр. по 9 марта.	Съ 9 по 15 марта.	Съ 15 по 22 марта.	Съ 22 по 27 марта.	Съ 27 по 31 марта.
Выпало снѣга, въ переводѣ на мм. воды	16,9	8,6	0,2	—	— (островъ)
Оставалось къ концу періода мм. . .	146	168	158	110	12
Растаяло за періодъ	10	—	10	48	98
Сумма тепла, въ градус. Цельсія . .	10,8°	0,3°	1,13°	5,0°	17,1°
Получилось миллим. воды отъ 1° тепла въ сутки	0,91	—	9,03	9,60	5,73

Такимъ образомъ, наибольшее количество снѣга (98 мм.) растаяло за 4 дня 27—31 марта. По детальной записи таяніе въ эти дни происходило слѣдующимъ порядкомъ:

М А Р Т А.	28	29	30	31
Растаяло мм.	11,5	4,6	33,8	48,1
Сумма гр. тепла	2,0°	0,8°	5,9°	8,4°

Слѣдовательно, 31 марта было наиболѣе быстрое таяніе—48 мм. въ сутки. При распредѣленіи этого таянія на 6 час. получимъ въ часъ 8 мм. или $D_1 = 0,26$ куб. саж./сек. съ 1 кв. версты—наибольшій расходъ отъ таянія снѣга.

Какъ видно изъ приведенныхъ таблицъ, на Оршинской дачѣ наблюдалось количество воды, получавшейся отъ 1° тепла въ сутки. 31 марта это количество составило около 6 мм. на 1°. Наибольшая

наблюденная величина составляла около 12 мм. на 1° тепла, т. е. вдвое болѣе противъ 31 марта.

Однако, число наблюдений этого рода, повидимому, еще недостаточно, чтобы установить ясную законѣрность.

Кромѣ этихъ данныхъ, на Раменской и Оршинской станціяхъ наблюдался коэффициентъ стока $\frac{Q}{Q_1}$, гдѣ Q_1 —количество осадковъ съ 1 ноября по 1 мая, а Q —стокъ воды за *все время половодья*. Коэффициентъ этотъ колеблется въ разные годы и на разныхъ постахъ отъ 0,3 до 1. Наибольшее значеніе было 0,99 для Макаровскаго канала (бассейнъ $F = 13$ кв. верстъ) въ апрѣлѣ 1909 года. Однако, этотъ коэффициентъ относится къ стоку *за все время* половодья, продолжавшееся 29 дней. За это время, общій стокъ составилъ всего около 2 куб. саж. съ кв. версты *въ мѣсяцъ*. Максимальный расходъ обуславливается, конечно, интенсивностью стока въ отдѣльные дни.

Переходимъ теперь къ величинѣ D_2 , т. е. количеству воды отъ дождей за время таянія снѣга.

Мартъ и апрѣль вообще небогаты дождями и, тѣмъ болѣе, ливнями. Въ этомъ случаѣ слѣдуетъ считаться только съ продолжительными дождями (по нѣсколько часовъ) интенсивность которыхъ (см. таблицу пар. 4) не превосходитъ 0,2—0,25 мм. въ минуту, т. е. 12—15 мм. въ часъ.

Поэтому

$$D_2 = \frac{15}{100} \times 3,26 = \approx 0,5 \text{ кв. саж./съ кв. версты.}$$

Все количество воды, стекающее съ бассейна въ секунду, опредѣляется такъ:

$$Q = 0,8 (D_1 + D_2) F$$

или

$$Q = 0,8 \left(\frac{0,54}{N} + 0,5 \right) F \text{ куб. саж. въ сек.} \quad (10)$$

Полагая, на примѣръ, $N = 2$, получимъ

$$Q' = 0,62 F.$$

Въ каждомъ частномъ случаѣ, эту величину слѣдуетъ сравнить съ расходомъ

$$Q = \varphi \Phi D F$$

для ливня, и изъ двухъ выбрать наибольшую.

Для бассейновъ больше 10—15 кв. верстъ слѣдуетъ считать

$$D = 0,8 (D_1 + D_2 \varphi).$$

Такъ какъ скорость стока не велика ($v = 0,20$ саж./сек.), то, напримеръ для трехчасового ливня,

$$\varphi = \frac{vt}{500} \times \frac{1}{L} = \frac{0,2 \times 3 \times 60 \times 60}{500} \times \frac{1}{L} = \frac{4,3}{L}$$

т. е. можно принять

$$Q = 0,8 (D_1 + D_2 \varphi) F = 0,43 \left[\frac{1}{N} + \frac{4}{L} \right] F$$

гдѣ N число сутокъ таянія, а L длина бассейна въ верстахъ.

Особый характеръ носить таяніе лѣтомъ вѣчной мерзлоты, наблюдаемое въ Приамурьѣ и, вообще, въ сѣверо восточной Сибири. Слой мерзлоты представляетъ собою ледъ, имѣющій въ началу лѣта толщину до 0,3 саж., т. е. болѣе чѣмъ вся годовая высота осадковъ въ Европейской Россіи. Этотъ подземный слой льда образуетъ громаднѣйшій аккумуляторъ влаги, питающій при своемъ оттаиваніи съ іюня до октября весь бассейнъ. Поэтому даже въ бездождные періоды горныя рѣчки Восточной Сибири работаютъ весьма интенсивно, а при выпаденіи теплыхъ дождей даютъ лѣтомъ паводки, превышающіе по расходу весеннія воды. Нѣкоторую роль при этомъ играетъ также непроницаемость ледяного покрова вѣчной мерзлоты.

Формула

$$Q = \psi (D_1 + \varphi D_2) F$$

примѣнима и въ этомъ случаѣ, но для установленія численныхъ коэффициентовъ имѣется пока слишкомъ мало данныхъ.

Г л а в а III.

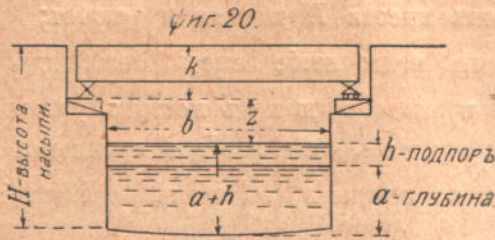
Расчетъ отверстій малыхъ мостовъ.

24. Общія соображенія. Основные размѣры моста (фиг. 20) — его *отверстіе* b (разстояніе между устоями) и *высота насыпи* H (отъ бровки полотна до дна тальвега).

Высота насыпи

$$H = a + h + z + d$$

гдѣ a —глубина потока въ нестѣсненномъ сѣченіи.
 $a + h$ —глубина потока подъ мостомъ.
 (h —величина подпора, см. дальше).

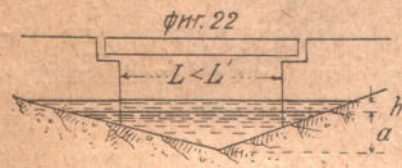


z —возвышеніе подферменной площадки надъ наиболѣе высокимъ горизонтомъ.

d —конструктивная высота отъ подферменной площадки до бровки полотна.

Опредѣленіе размѣровъ b и H и составляетъ предметъ расчета отверстій.

Чтобы перекрыть потокъ не стѣсняя совершенно его сѣченія, слѣдовало бы (фиг. 21) ставить устои внѣ урѣзовъ наиболѣе высокаго горизонта воды. При этомъ, однако, отверстіе L' было бы излишне большимъ, а пролетное строеніе дорогимъ. Поэтому устои сближаютъ между собою, стѣсняя русло до



отверстія $L < L'$ (фиг. 22). При такомъ стѣсненіи происходитъ такъ называемый *подпоръ*, т. е. горизонтъ воды поднимается на высоту подпора h . Глубина воды подъ мостомъ становится $a + h$; увеличеніе глубины (подпоръ) распространяется на значительную длину выше моста; ниже моста подпоръ исчезаетъ на короткомъ разстояніи 2—3 саж., образуя перепадъ, послѣ чего вода снова идетъ нестѣсненнымъ сѣченіемъ (фиг. 23).



Такимъ образомъ, путемъ стѣсненія русла и образованія под-

пора, можно уменьшить отверстие и удешевить пролетное строение моста. Однако, такое стѣсненіе допустимо только до нѣкотораго предѣла, такъ какъ съ увеличеніемъ подпора:

- а) возрастаетъ высота H насыпи и устоевъ;
- б) происходитъ подтопленіе земель, лежащихъ выше моста,
- в) скорость прохода воды подъ мостомъ увеличивается и можетъ достигнуть предѣла, опаснаго для прочности моста,

Остановимся на каждомъ изъ этихъ послѣдствій.

Высота насыпи

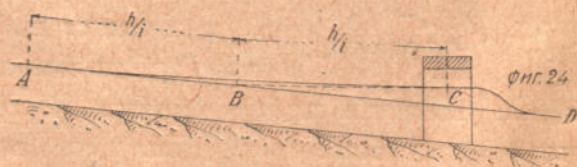
$$H = a + h + z + d.$$

Съ увеличеніемъ h уменьшается L и иногда можетъ нѣсколько уменьшиться d (конструктивная высота зависитъ отъ пролета). Въ общемъ, однако, при увеличеніи подпора h , возрастаетъ почти настолько же высота насыпи H . При этомъ, конечно, увеличивается стоимость устоевъ, а также и самой насыпи, которая поднимается надъ разливомъ иногда на большой длинѣ.

Это удорожаніе можетъ, начиная съ нѣкотораго h , поглотить всю выгоду отъ удешевленія фермъ (см. далѣе, стр. 68).

б) Подтопленіе земель, благодаря стѣсненію русла при устройствѣ моста, нерѣдко наноситъ большой ущербъ владѣльцамъ земель выше сооруженія, влечетъ за собой иногда судебную тяжбу и, въ концѣ концовъ, убытки ложатся на стоимость сооруженія.

Для небольшихъ мостовъ размѣръ подпора и длина, на которую онъ распространяется, могутъ быть опредѣлены такимъ



образомъ. Пусть (фиг. 24) уклонъ поверхности воды AD не стѣсненнаго потока (до устройства моста) будетъ i , высота подпора h . Тогда если проведемъ горизонтальную линію BC , то кривая подпора распространится по дугѣ круга ABC , касательной въ точкѣ C . Отсюда

$$AB = BC = \frac{h}{i}$$

длина подпора

$$AC = \frac{2h}{i}.$$

Пользуясь этимъ правиломъ, можно судить о томъ, насколько образование подпора грозитъ подтопленіемъ земель выше моста.

в) Если до стѣненія русла мостомъ скорость потока была

$$V = C\sqrt{Ri},$$

то послѣ устройства моста, съ образованіемъ подпора h , скорость увеличится до значенія $U > V$, причеиъ

$$\frac{U^2 - V^2}{2g} = h,$$

т. е.

$$U = \sqrt{V^2 + 2gh}.$$

При извѣстномъ возрастаніи скорости по дну лотка, можетъ возникнуть опасность размыва. Скорость по дну находится въ особомъ соотношеніи съ средней скоростью U подъ мостомъ. Предѣльные значенія скорости по дну U_0 и средней скорости U , допустимыя при различныхъ грунтахъ и типахъ укрѣпленія русла, приведены въ слѣдующей таблицѣ

Грунтъ русла и его укрѣпленіе.	Допускаемая скорость по дну U_0 .		Соотвѣтствующая средняя скорость U (саж.).
	Фут.	Саж.	
1) Плотный песокъ	3	0,430	0,538
2) Плотный глинистый грунтъ	5	0,714	0,880
3) Каменистый грунтъ или укрѣпленный одиночной мостовой	7	1,000	1,170
4) Скалистый или укрѣпленный двойной мостовой	10	1,430	1,630
5) Лотокъ изъ каменной кладки	14	2,000	2,228
6) Деревянный лотокъ	20	2,875	3,110

При переходѣ отъ русла покрытаго мостовой къ каменистому лотку, стоимость моста увеличивается, почему уменьшеніе отверстія можетъ оказаться невыгоднымъ.

Приведемъ примѣры измѣненія стоимости моста въ зависимости отъ различно выбранныхъ подпоровъ и отверстій *) при желѣзобетонномъ верхнемъ строеніи и стоимости камня около 65 руб. за куб. саж.

Отверстіе	0,50 саж.	1,00 саж.	Мостъ 0,50 саж. дороже + дешевле —	
			Руб.	%/о
Высота насыпи	0,70 саж.	0,57 саж.		
Стоимость каменныхъ устоевъ . .	955 р.	866 р.	+ 89	+ 9,7%/о
Стоимость пролетнаго строенія .	108 „	280 „	— 172	— 61%/о
Измѣненіе стоимости земляныхъ работъ	—	— 100 „	+ 100	—
Полная стоимость моста	1.063 р.	1.046 р.	+ 17	+ 1,6%/о

Примѣръ этотъ показываетъ, что уменьшеніе отверстія съ 1,00 саж. до 0,50 саж. удешевляетъ стоимость желѣзобетоннаго верхняго строенія на цѣлыхъ 60%/о. Въ то же время, вслѣдствіе увеличенія высоты насыпи на 0,13 саж., стоимости устоевъ и земляныхъ работъ (на протяженіи 100 саж. насыпь повышается на $0,13 = 0,065$ саж.), мостъ отверстіемъ 1,00 саж. стоитъ въ суммѣ столько же, (по смѣтѣ дороже на 1,6%/о) сколько мостъ 0,50 саж. Между тѣмъ, водопропускныя условія моста 1,00 саж. гораздо лучше чѣмъ 0,50 саж. (подтопленіе земель на 0,13 саж., размывъ русла).

Другой примѣръ:

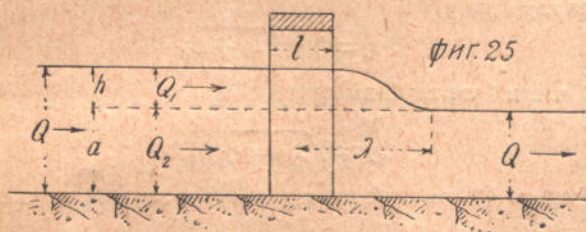
Отверстіе	2,00 саж.	2,50 саж.	Мостъ 2,00 саж. дороже + дешевле —	
			Руб.	%/о
Высота насыпи	0,81 саж.	0,78 саж.		
Стоимость каменныхъ устоевъ . .	1.102 р.	1.063 р.	+ 39	2,4%/о
Стоимость пролетнаго строенія .	801 „	1.140 „	— 339	— 30%/о
Измѣненіе стоимости земляныхъ работъ	—	— 83 „	+ 83	—
Полная стоимость моста	1.903 р.	2.120 р.	— 217	— 10,2%/о

*) Примѣры сосчитаны инженеромъ С. В. Яцимирскимъ для двухъ мостовъ Киевскаго Губернскаго Земства.

Въ этомъ случаѣ уменьшеніе отверстія моста съ 2,50 до 2,00 саж. уменьшаетъ стоимость пролетнаго строенія на 30% (339 руб.) и лишь незначительно увеличиваетъ стоимость устоевъ и земляныхъ работъ. Поэтому мостъ, 2,00 саж. оказывается дешевле 2,50 саж. на 10%. Однако, абсолютная разница стоимостей 217 руб., при стоимости 1 версты шоссе около 12.000, составляетъ всего 1,8% увеличенія стоимости версты (если на версту дороги приходится одинъ мостъ), т. е. почти нечувствительна. Изъ этихъ примѣровъ ясно, видно, что не слѣдуетъ стремиться во что бы то ни стало уменьшать отверстіе моста, такъ какъ при этомъ иногда удорожается стоимость устоевъ и насыпи и всегда ухудшаются гидравлическія условія потока (подпоръ, скорость по дну).

Въ особенности слѣдуетъ избѣгать малыхъ отверстій и пролетовъ для горныхъ рѣкъ, (напр. въ Восточной Сибири), несущихъ массу карчей и наносника (дереьевъ, упавшихъ при размывѣ лѣсныхъ береговъ и увлеченныхъ теченіемъ). При такихъ условіяхъ малые пролеты подвергаются опасности быть забытыми, а опоры моста вслѣдствіе этого могутъ быть размыты.

25. Опредѣленіе отверстія моста по формулѣ затопленнаго водослива. При образованіи подпора h выше моста (фиг. 25)



при короткой длинѣ устоевъ (меньше длины перепада $l < \lambda$) теченіе воды подъ мостомъ разсматривается какъ случай затопленнаго водослива. При этомъ расходъ

$$Q = Q_1 + Q_2$$

гдѣ Q_1 расходъ въ верхней, а Q_2 въ нижней части отверстія.

Если отверстіе имѣетъ размѣръ b , то

$$Q_1 = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} [(h+k)^{3/2} - k^{3/2}]$$

$$Q_2 = \mu b a \sqrt{2g} (h+k)^{1/2}$$

откуда отверстіе b

$$b = \frac{Q}{\mu \sqrt{2g} \left[\frac{2}{3} [(h+k)^{3/2} - k^{3/2}] + a (h+k)^{1/2} \right]} \quad \dots (11)$$

Въ этихъ формулахъ

$$h = \frac{U^2 - V^2}{2g}; \quad k = \frac{V^2}{2g},$$

U —средняя скорость прохода воды подъ мостомъ,

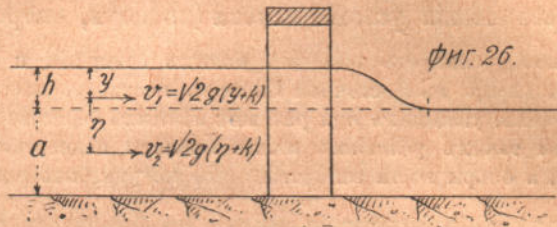
V —скорость притеканія воды въ несѣсненномъ руслѣ передъ мостомъ,

μ —коэффициентъ сжатія струи,

g —ускореніе силы тяжести,

a —глубина несѣсненного потока передъ мостомъ.

Вышеприведенныя выраженія для Q_1 и Q_2 получаются слѣдующимъ обра-



зомъ. Величина скорости на разныхъ глубинахъ будетъ (фиг. 26): а) въ верхней части (для глубины y)

$$v_1 = \sqrt{2g(y+k)},$$

б) въ нижней части (для глубины η)

$$v_2 = \sqrt{2g(\eta+k)}^*.$$

Отсюда расходъ Q_1 , на глубину подпора h и по всей ширинѣ b

$$\begin{aligned} Q_1 &= \mu \int_0^h b v dy = \mu \int_0^h b \sqrt{2g(y+k)} dy = \mu b \sqrt{2g} \int_0^h (y+k)^{1/2} dy = \\ &= \mu b \sqrt{2g} \left[\frac{2}{3} (y+k)^{3/2} \right]_0^h = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} [(h+k)^{3/2} - k^{3/2}]. \end{aligned}$$

Расходъ въ нижней части, отъ глубины $\eta = h$ до глубины $\eta = a+h$, будетъ

$$\begin{aligned} Q_2 &= \mu \int_h^{a+h} b v d\eta = \mu \int_h^{a+h} b \sqrt{2g(\eta+k)} d\eta = \mu b \sqrt{2g} \int_h^{a+h} (\eta+k)^{1/2} d\eta = \\ &= \mu b \sqrt{2g} \left[\frac{2}{3} (\eta+k)^{3/2} \right]_h^{a+h} = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} [(a+h+k)^{3/2} - (h+k)^{3/2}]. \end{aligned}$$

*) На фиг. 26 глубина η показана неправильно, слѣдуетъ отсчитывать отъ верхняго, (подпорнаго) горизонта.

Раскладывая $(a+h+k)^{3/2}$ по биному получимъ

$$Q_2 = \mu b \sqrt{2g} [(h+k)^{3/2} + 3/2 (h+k)^{1/2} \times a + \\ + \frac{3/2 \times (-1/2)}{1 \cdot 2} (h+k)^{-1/2} a^2 + \dots - (h+k)^{3/2}].$$

Сокращая первый и послѣдній членъ и отбрасывая члены съ a^2 и высшими степенями a , получимъ

$$Q_2 = \mu b a \sqrt{2g} (h+k)^{1/2}$$

Если скорость v притеканія воды незначительна и величиной

$$k = \frac{V^2}{2g}$$

можно пренебречь сравнительно съ величиной

$$h = \frac{U^2 - V^2}{2g}$$

то формула (11)

$$b = \frac{Q}{\mu \sqrt{2g} \left\{ \frac{2}{3} [(h+k)^{3/2} - k^{3/2}] + a (h+k)^{1/2} \right\}}$$

принимаетъ, полагая $k = 0$, упрощенный видъ

$$b = \frac{Q}{\mu \sqrt{2gh} \left(\frac{2}{3} h + a \right)} \dots \dots \dots (12)$$

Въ таблицѣ № 3 (стр. 94) приведены значенія

$$k = \frac{V^2}{2g};$$

изъ таблицы видно, что при скоростяхъ $V < 0,50$ с., величина $k < 0,03$ саж., почему до этого предѣла можно пользоваться упрощенной формулой (12).

26. Опредѣленіе глубины потока. Для опредѣленія величины отверстія по формуламъ затопленнаго водослива (11) или (12) необходимо знать глубину a воды, притекающей къ сооруженію при наибольшемъ расчетномъ расходѣ Q .

Въ сравнительно рѣдкихъ случаяхъ удается установить на мѣстѣ положеніе наивысшаго, наблюдавшагося фактически, горизонта высокой воды и такимъ образомъ установить глубину a съ натуры. Зная положеніе этого горизонта, можно, путемъ снятія поперечнаго профиля русла, опредѣлить площадь живого сѣченія ω , подводный периметръ p и подводный радиусъ R . Величина уклона i можетъ быть также опредѣлена съ натуры, путемъ связыванія нивелировкой двухъ точно извѣстныхъ отмѣтокъ наивысшаго горизонта. Если этого сдѣлать нельзя, то можно приближенно допустить, что уклонъ поверх-

ности потока равняется уклону дна тальвега. На основании этих данных можно определить скорость

$$V = c \sqrt{Ri}$$

и расходъ

$$Q = \omega V.$$

Такое определение глубины a , скорости V и расхода Q , независимое отъ всякихъ нормъ и допущеній, является, конечно, наиболее вѣрнымъ.

По большей части, однако, надежныхъ указаній о дѣйствительномъ положеніи наивысшаго подпорнаго горизонта не имѣется. При такихъ условіяхъ, приходится глубину a опредѣлять оцѣнью, подбирая ее въ соотвѣтствіи съ опредѣленнымъ по тѣмъ или другимъ нормамъ расходомъ Q . Задаваясь наудачу какимъ-либо пробнымъ значеніемъ $a = a_1$, вычисляютъ по поперечной профили русла соотвѣтствующее живое сѣченіе ω_1 , периметръ p_1 , подводный радиусъ R_1 , скорость $V_1 = C \sqrt{R_1 i}$ и наконецъ расходъ $Q_1 = \omega_1 V_1$. Если окажется, что $Q_1 > Q$, то повторяютъ расчетъ снова, задаваясь величиной $a_2 < a_1$ и т. д., до тѣхъ поръ, пока расходъ, Q_k будетъ незначительно отличаться отъ Q , напр., не болѣе 10%. Тогда глубину потока a_k , соотвѣтствующую такому расходу принимаютъ за истинную и подставляютъ ее въ формулу для опредѣленія отверстій (11) или (12).

Этотъ расчетъ на практикѣ отнимаетъ довольно много времени, такъ какъ удачное рѣшеніе получается только послѣ нѣсколькихъ пробныхъ постановокъ значенія глубины a . Приведемъ нѣкоторые приемы ускоренія этого расчета.

27. Приемы для сокращенія вычисленій глубины потока a_0 заключаются:

- а) въ *приближенномъ* опредѣленіи глубины потока a_0 , по *формуль*, или съ помощью *графика*;
- б) въ *формулахъ*, облегчающихъ вычисленіе ω_x и p_x для глубинъ $a_0 + x$ близкихъ къ приближенной глубинѣ a_0 ,
- в) въ *графикахъ*, облегчающихъ вычисленіе скорости

$$V = c \sqrt{Ri}.$$

28. Приближенное опредѣленіе глубины a можетъ быть полезнымъ для предварительнаго пробнаго опредѣленія величинъ

$$\omega_1, p_1, R_1, V_1 \text{ и } Q_1.$$

Иногда, напр., при летучихъ изысканіяхъ, при пробномъ трасированіи вариантовъ и пр., вполне достаточно ограничиться приближеннымъ значеніемъ глубины, не отыскивая точныхъ значеній.

Приблизенно глубина потока можетъ быть опредѣлена по формулѣ

$$a_0 = 0,43 \sqrt[3]{\frac{b}{n}} \dots \dots \dots (13)$$

Здѣсь

$$B = \frac{Q}{V i},$$

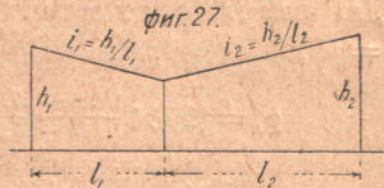
гдѣ Q —расходъ воды, а i —продольный уклонъ русла,

$$n = \frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2},$$

гдѣ, согласно обозначеній на фиг. 27,

$$i_1 = \frac{h_1}{l_1} \text{ и } i_2 = \frac{h_2}{l_2},$$

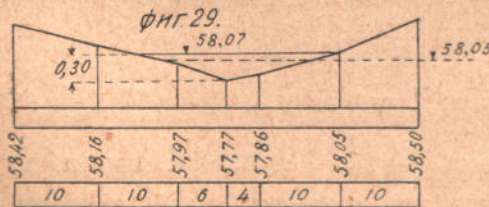
т. е. i_1 и i_2 суть уклоны русла въ поперечномъ профилѣ. Если эти откосы русла представляютъ собой не прямыя, а ломаныя лініи, то ихъ можно спрямить въ предѣлахъ возможнаго разлива.



Задаваясь, (въ натурѣ, или на чертежѣ) нѣкоторой глубиной a_0 , лежащей въ предѣлахъ возможнаго разлива, и опредѣливъ соответствующую ширину урѣза p_0 , можно приближенно положить, что

$$n = \frac{p_0}{a_0}.$$

Возьмемъ численный примѣръ. Пусть расходъ бассейна $Q =$



$= 1,80$ кв. саж. въ сек., уклонъ $i = 0,005$, поперечный профиль русла имѣетъ видъ, показанный на фиг. 29.

Сначала находимъ, пользуясь таблицей № 2.

$$B = \frac{Q}{\sqrt{i}} = \frac{1,80}{\sqrt{0,005}} = \frac{1,80}{0,0707} = 25,50.$$

Затѣмъ опредѣляемъ n (приближенно, спрямляя откосы русла).

Съ лѣвой стороны

$$\frac{1}{i_1} = \frac{10+6}{58,16-57,77} = \frac{16}{0,39} = 41.$$

Съ правой стороны:

$$\frac{1}{i_2} = \frac{10+4}{58,05-57,77} = \frac{14}{0,28} = 50.$$

Отсюда

$$n = \frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2} = 41 + 50 = 91.$$

Подставляя найденныя величины въ формулу (13), получимъ приближенную величину глубины

$$a_1 = 0,43 \sqrt[3]{\frac{B}{n}} = 0,43 \sqrt[3]{\frac{25,5}{91}} = 0,28 \text{ саж.}$$

Для этой глубины и соответствующаго горизонта $57,77 + 0,28 = 58,05$ опредѣляемъ

$$p_1 = (10 \times \frac{58,05-57,97}{58,16-57,97}) + 6 + 4 + 10 = 24,20 \text{ саж.}$$

$$\omega_1 = (0,08 \times \frac{4,20+6}{2}) + (0,28 \frac{6+4}{2}) + (0,19 \frac{4+10}{2}) = 3,14 \text{ саж.}$$

$$R_1 = \frac{\omega_1}{p_1} = \frac{3,14}{24,20} = 0,13 \text{ саж.}$$

По таблицѣ № 1 находимъ, для $R_1 = 0,13, C_1 = 6,3$, откуда скорость (пользуясь таблицей № 2)

$$V_1 = C_1 \sqrt{i} = 6,3 \times 0,0707 = 0,45 \text{ саж./сек.},$$

а расходъ

$$Q_1 = \omega_1 V_1 = 3,14 \times 0,45 = 1,4 \text{ куб. саж./сек.}$$

Расходъ этотъ на 20% менѣе заданнаго по нормамъ—1,8 куб. саж./сек. Иногда можно такимъ приближеніемъ удовлетвориться, иногда надо искать болѣе близкое совпаденіе, измѣняя глубину, какъ будетъ изложено далѣе.

29. Выводъ формулы (13) для приближенной глубины.

Изъ выраженій

$$Q = \omega V; R = \frac{\omega}{p}; V = C \sqrt{Ri} = C_1 \sqrt{i}$$

получимъ

$$Q = \omega V = p R C_1 \sqrt{i}.$$

Далѣе, можно положить (фиг. 27)

$$p = \left(\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2} \right) a = na$$

$$i_1 = \frac{h_1}{l_1}; i_2 = \frac{h_2}{l_2}; \frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2} = n.$$

Строго говоря,

$$p = \left\{ \sqrt{1 + \left(\frac{1}{i_2} \right)^2} + \sqrt{1 + \left(\frac{1}{i_1} \right)^2} \right\} a,$$

но если ограничиться точностью 0,01—0,02 саж., то при глубинахъ $a < 0,50$ саж. и при уклонахъ $i < 5\%$ можно считать

$$\sqrt{1 + \left(\frac{1}{i} \right)^2} = \frac{1}{i}$$

и

$$p = na.$$

Сохраняя обозначеніе

$$\frac{Q}{\sqrt{i}} = T$$

получимъ

$$a = \frac{p}{n} = \frac{Q}{Rn C_1 \sqrt{i}} = \frac{T}{n} \times \frac{1}{R C_1}.$$

Коэффициентъ C_1 , опредѣленный для земляныхъ русель по формулѣ

$$C_1 = C \sqrt{R} = \frac{R}{\sqrt{0,00059738 R + 0,00035}}$$

съ достаточнымъ приближеніемъ можетъ быть замѣненъ выраженіемъ

$$C_1 = 10 R (5 - 2 R).$$

Такъ, напримѣръ:

$$R = 0,55; C_1 \text{ по форм.} = 21,45, \text{ по табл. } 21,14$$

$$R = 0,07; C_1 \text{ " " } = 3,40 \text{ " " } 3,54 \text{ и т. д.}$$

Подставляя это значеніе C_1 получимъ

$$a = \frac{T}{n} \times \frac{1}{10 R^2 (5 - 2 R)},$$

или

$$10 a R^2 (5 - 2 R) = \frac{B}{n}.$$

Полагая далѣе, что удачнымъ подборомъ величины n сѣченіе приводится къ виду треугольнаго, и, слѣдовательно,

$$R = \frac{a}{2},$$

получимъ

$$\frac{10 a^3}{4} (5 - a) = \frac{B}{n}.$$

Если глубина не больше 0,50 саж., то величиной a можно пренебречь, сравнительно съ 5 и тогда

$$12,5 a^3 = \frac{B}{n}$$

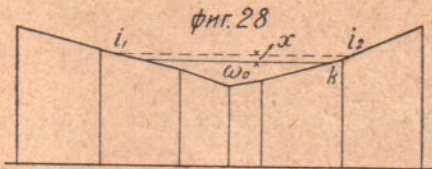
или

$$a = 0,43 \sqrt[3]{\frac{B}{n}}.$$

30. Формулы для перехода отъ одной глубины къ другой.

Для того, чтобы отъ приближенной величины a_0 перейти къ болѣе точной, необходимо подобрать a такъ, чтобы соответствующій этой глубинѣ расходъ отличался отъ вычисленнаго по нормамъ не болѣе какъ на 10⁰/о.

Чтобы не вычислять каждый разъ снова величины p и ω непосредственно изъ чертежа,



можно воспользоваться слѣдующими переходными формулами.

Если для глубины a_0 , соответствующей горизонту нѣкоторой точки k (фиг. 28) длина

периметра = p_0 и площадь живого сѣченія = ω_0 , то для глубины $a_0 + x$, близкой къ a_0 , длина периметра

$$p_x = p_0 + nx$$

площадь живого сѣченія

$$\omega_x = \omega_0 + p_0 x + \frac{nx^2}{2}$$

$$\left. \begin{array}{l} p_x = p_0 + nx \\ \omega_x = \omega_0 + p_0 x + \frac{nx^2}{2} \end{array} \right\} \dots \dots \dots (14)$$

Въ этомъ случаѣ

$$n = \frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2}$$

слѣдуетъ брать въ предѣлахъ измѣненія глубинъ отъ a_0 до $a_0 + x$

Такимъ образомъ, предварительно глубина можетъ быть опредѣлена по формулѣ (13), а для дальнѣйшаго болѣе точнаго подбора могутъ быть использованы формулы (14).

Примѣръ. Выше (§ 28) мы нашли, что при глубинѣ $a_1 = 0,28$ саж. расходъ Q_1 составляетъ 1,4 куб. саж./сек. что менѣе опредѣленнаго по нормамъ $Q = 1,8$ куб. саж./сек. на 20%.

Увеличимъ глубину $= 0,28$ саж. до $a_1 + x = 0,28 + 0,02 = 0,30$ саж. Въ данномъ случаѣ (см. выше, § 28)

$$p_1 = 24,2 \text{ саж.}$$

$$\omega_1 = 3,14 \text{ саж.}$$

Для глубины $a_1 = 0,28$ саж., т. е. горизонта 58,05 (фиг. 29)

$$n_1 = \frac{10}{58,16 - 57,97} + \frac{10}{58,50 - 58,05} = \frac{10}{0,19} + \frac{10}{0,45} = 52,6 + 22,2 = 74,8 \approx 75.$$

(Это число n_1 отличается отъ ранѣе опредѣленнаго въ § 28 $n = 91$, соответствовавшаго спрямленнымъ откосамъ, тогда какъ число $n_1 = 75$ соответствуетъ уклонамъ откосовъ непосредственно выше горизонта 58,05).

Отсюда, на основаніи формулъ (14), при

$$x = 0,02 \text{ саж.}$$

$$p_x = p_1 + nx = 24,20 + 75 \times 0,02 = 25,70$$

$$\omega_x = \omega_1 + p_1 x + \frac{nx^2}{2} = 3,14 + 24,2 \times 0,02 + \frac{75 \times 0,02^2}{2} = 3,63.$$

Далѣе

$$R_x = \frac{3,63}{25,70} = 0,141$$

$$C_x = 6,8$$

$$V_x = C_x \sqrt{i} = 6,8 \times 0,0707 = 0,48 \text{ саж./сек.}$$

$$Q_x = \omega V = 3,63 \times 0,48 = 1,74 \text{ саж./сек.}$$

Расходъ этотъ достаточно близко (съ точностью до 3%) подходит къ заданному 1,80 куб. саж., почему глубина $a_0 = 0,28 + 0,02 = 0,30$ саж. можетъ быть принята за окончательную, и, слѣдовательно, вѣроятный наибольшій расходъ опредѣляется при горизонтѣ 58,07.

Изъ этого примѣра видно, насколько просто составить выраженія

$$p_x = p_1 + nx$$

$$\omega_x = \omega_1 + p_1 x + \frac{nx^2}{2}$$

и дѣлать подборъ при разныхъ x .

31. Примѣненіе графиковъ № 1 и № 2 для опредѣленія глубины a . Предыдущія вычисленія могутъ быть еще болѣе сокращены путемъ примѣненія графиковъ приложенныхъ въ концѣ.

Графики № 1 и № 2 предназначены для опредѣленія глубины a по формулѣ

$$a = 0,43 \sqrt[3]{\frac{B}{n}}$$

гдѣ

$$B = \frac{Q}{Vi}$$

На лѣвой части графика № 1 по оси абсциссъ отложены расходы $Q = 1, 2, 3 \dots$ куб. саж. въ секунду. На лучахъ написаны уклоны i , отъ 0,001 до 0,05. На оси ординатъ написаны величины

$$B = \frac{Q}{Vi}$$

Такъ напримѣръ, для расхода $Q = 3,3$ куб. саж./сек. и уклона $i = 0,008$ находимъ $B = 37$.

Замѣтимъ, что этой лѣвой стороной графика можно пользоваться и для значеній B и Q , непоказанныхъ на чертежѣ, имѣя въ виду пропорціональность B и Q . Такъ, напримѣръ, желая опредѣлить B для $Q = 1,8$ куб. саж./сек. и $i = 0,005$, мы можемъ избѣжать пользованія нижнимъ правымъ угломъ діаграммы, гдѣ все лучи тѣсно сходятся, а опредѣлить B напр. для $Q = 6$ куб. с./въ сек. Тогда $B = 85$, а для $Q = 1,8$ куб. саж./сек. $= 0,6 \times 3$, очевидно, $B = 8,5 \times 3 = 25,5$ какъ и было опредѣлено выше, въ § 28.

На правой сторонѣ графика № 1, по оси ординатъ отложены тѣ же величины B ; на кривыхъ лучахъ написаны величины n отъ 10 до 200, а по оси абсциссъ отложены глубины a , въ десятихъ сажени, отъ 0,1 до 0,7 саж.

Такъ, напр., для $B = 37$ и $n = 75$ находимъ $a = 0,34$ саж.

Объими половинами графика № 1 слѣдуетъ пользоваться одновременно, на примѣръ, какъ показано пунктиромъ, для $Q = 3,3$ куб. саж./сек. $i = 0,008$, $n = 75$, находимъ $a = 0,34$. Для примѣра § 28, при $Q = 1,8$ находимъ, какъ было выше изложено, $T = 25,5$ и далѣе при $n = 90$, получаемъ $a = 0,28$ саж.

Графикъ № 2 составленъ совершенно такъ же, какъ графикъ № 1, но приспособленъ специально для малыхъ расходовъ отъ 0,1 до 1,0 куб. саж./сек., нанесенныхъ въ лѣвой части по оси абсциссъ. По оси ординатъ отложены величины T отъ 0 до 10, а въ правой части по оси абсциссъ глубины a отъ 0,10, до 0,40 саж.

Такъ, напр., (какъ показано пунктиромъ), для $Q = 0,65$ куб. саж./сек., $i = 0,008$ $n = 70$ $a = 0,20$ саж.

Иногда можетъ случиться, что значенія

$$Q, T, n \text{ и } a$$

таковы, что не вмѣщаются въ предѣлахъ графиковъ. Тогда приходится прибѣгать къ принципу пропорціональности. Пусть, на примѣръ,

$$Q = 0,08 \text{ куб. саж./сек.}$$

$$i = 0,004$$

$$n = 575.$$

Прежде всего, въ виду неудобства опредѣленія T для $Q = 0,08$ находимъ по графику № 2 для $Q = 5 \times 0,08 = 0,4$ и уклона $i = 0,004$ величину $T = 6,3$.

Отсюда для

$$Q = 0,008, T = \frac{6,3}{5} = 1,3.$$

Далѣе, въ правой части графика № 2 имѣются величины n только для 200, а намъ надо $n = 575$.

Тогда, имѣя въ виду выраженіе

$$a = 0,43 \sqrt[3]{\frac{T}{n}},$$

видимъ, что если подкоренную величину $\frac{T}{n}$ увеличимъ въ 1000 разъ, то вмѣсто a получимъ $10 a$. Пользуясь этимъ, вмѣсто

$$\frac{T}{n} = \frac{1,3}{575},$$

$$\text{возьмемъ } 1000 \frac{T}{n} = \frac{20 \times 1,3}{575 : 50} = \frac{26}{11,5}.$$

Для $T = 26$ и $n = 11,5$ находимъ по графику № 1

$$10 a = 0,55.$$

Откуда

$$a = \infty 0,06 \text{ саж.}$$

32. Примѣненіе графиковъ №№ 3, 4 и 5 для опредѣленія скорости $V = C\sqrt{Ri}$. Хотя съ помощью таблицы № 1, дающей величины $C_1 = C\sqrt{R}$ и таблицы № 2, дающей значенія \sqrt{i} значительно облегчается вычисленіе скорости

$$V = C\sqrt{Ri} = C_1\sqrt{i},$$

тѣмъ не менѣе, это опредѣленіе скорости можетъ быть еще болѣе упрощено съ помощью примѣненія графиковъ № 3, 4, 5.

Въ лѣвой части графика № 3 начерченъ рядъ кривыхъ, позволяющихъ для разныхъ значеній подводнаго радіуса R (по оси абсциссъ) отъ 0,00 до 0,20 опредѣлить соответствующія $C_1 = C\sqrt{R}$ (по оси ординатъ) отъ 0 до 10.

Въ правой части, на лучахъ написаны уклоны i отъ 0,001 до 0,005, а по оси абсциссъ отложены скорости V отъ 0 до 1,0 саж./сек.

Пользуясь *одновременно* правой и лѣвой стороной графика № 3, мы получимъ сразу значенія скорости V для заданныхъ R и i . Такъ, на примѣръ,

для $R = 0,132$ саж.

и $i = 0,005$

получаемъ $V = 0,45$ саж.

Провѣримъ эту величину вычисленіемъ съ помощью таблицъ. Изъ таблицы № 1 получаемъ:

для $R = 0,132$ $C_1 = 6,37$.

Изъ таблицы № 2

для $i = 0,005$, $\sqrt{i} = 0,0707$.

Откуда $V = 6,37 \times 0,0707 = 0,45$ саж., т. е. то же самое, что и по графику.

Графики № 4 и № 5 построены такъ же, какъ и графикъ № 3, только на графикѣ № 4 приведены значенія R отъ 0,20 до 0,48, а на графикѣ № 5 отъ 0,48 до 0,85 саж.

Очевидно, что и для этих графиков можно пользоваться пропорциональностью, имея въ виду формулу

$$V = C_1 \sqrt{i}.$$

Такъ, напр., для $R = 0,38$ и $i = 0,008$ мы не находимъ пересѣченія въ графикъ № 4.

Но, если вмѣсто уклона 0,008 возьмемъ $0,002 = \frac{0,008}{4}$, то получимъ

$$\frac{V}{2} = 0,70 \text{ саж./сек.}$$

Откуда $V = 2 \times 0,70 = 1,40$ саж./сек.

Другой примѣръ:

Пусть $R = 0,015$ $i = 0,006$

Непосредственное опредѣленіе по графику № 3 неудобно.

Опредѣляемъ для $R = 0,015$, $C_1 = 0,8$. Увеличивая C_1 въ 10 разъ, находимъ

$$10 V = 0,62$$

Откуда $V = 0,06$ саж./сек.

Графики №№ 3, 4, 5 сокращаютъ отысканіе по таблицамъ и умноженіе величинъ $C\sqrt{R}$ и \sqrt{i} . Для послѣдовательнаго пробнаго подбора глубины (см. выше, § 30) графическое опредѣленіе величины V достаточно точно.

33. Опредѣленіе величины подпора и скорости протеканія воды. При проектированія линіи необходимо знать не только величину отверстия, но еще и минимальную высоту насыпи у моста (см. § 24).

$$H = a + h + z + d \dots \dots \dots (15)$$

Величины z и d извѣстны по типу моста, глубина a опредѣляется по § 26, поэтому, въ выраженіи (15) для высоты насыпи остается одна неизвѣстная—подпоръ

$$h = \frac{U^2 - V^2}{2g} \dots \dots \dots (16)$$

Если сопоставить выраженіе (16) для подпора съ формулой (11), опредѣляющей размѣръ отверстия

$$b = \frac{Q}{\rho \sqrt{2g} \left\{ \frac{2}{3} [(h+k)^{3/2} - k^{3/2}] + a(h+k)^{1/2} \right\}}$$

то увидимъ, что съ увеличеніемъ допускаемаго подпора уменьшается величина отверстия. Еще отчетливѣе это видно въ упрощенной формулѣ (12)

$$b = \frac{Q}{\mu \sqrt{2gh} (2/3 h + a)}$$

Такимъ образомъ, для одного и того же сооруженія можно назначить большее или меньшее отверстие, въ зависимости отъ того, какою будетъ выбранъ подпоръ h и скорость

$$U = \sqrt{2gh + V^2}$$

Обычно задаются сначала для скорости прохода черезъ сооруженіе U наибольшими допустимыми значеніями U_0 (§ 24). Подставляя соответствующее величинѣ U_0 значеніе h_0 въ формулу (11) или (12), получимъ нѣкоторое значеніе величины b_0 . Эту величину b_0 замѣняютъ нѣкоторой другой, $b > b_0$, при чемъ b выражается въ цѣлыхъ саженьяхъ 1, 1,50 2,00 . . . , соответствующимъ имѣющимся типовымъ проектамъ пролетнаго строенія. Очевидно, если вмѣсто b_0 мы беремъ $b > b_0$, то получимъ значенія $U < U_0$ и $h < h_0$, т. е. можемъ нѣсколько уменьшить высоту насыпи и устоевъ H . Поэтому, является необходимость въ точномъ опредѣленіи высоты подпора h .

Обычный способъ расчета. Подставляя въ формулу

$$b = \frac{Q}{\mu \sqrt{2g} \{2/3 [h+k]^{3/2} - k^{3/2}\} + a (h+k)^{1/2}}$$

значенія

$$h = \frac{U^2 - V^2}{2g}, \quad k = \frac{V^2}{2g}, \quad h+k = \frac{U^2}{2g}$$

получимъ

$$b = \frac{Q}{\frac{\mu}{3g} (U^3 - V^3) + \mu a U} \dots \dots \dots (17)$$

или, пренебрегая V^3 сравнительно съ U^3 , получимъ упрощенную формулу

$$b = \frac{Q}{\frac{\mu}{3g} U^3 + \mu a U} = \frac{Q}{\mu U \left(\frac{U^2}{3g} + a \right)} \dots \dots \dots (18)$$

Изъ формулы (17) слѣдуетъ

$$U^3 + 3gaU - \left(\frac{3gQ}{\mu b} + V^3 \right) = 0,$$

или

$$U^3 + pU + q = 0.$$

Это кубическое уравнение связывает величины U и b . Поэтому, задавая величиной b , и решая уравнение по способу Кардана, получимъ

$$U = \sqrt[3]{-\frac{1}{2}q + \sqrt{\left(\frac{1}{2}q\right)^2 + \left(\frac{1}{3}p\right)^3}} + \sqrt[3]{-\frac{1}{2}q - \sqrt{\left(-\frac{1}{2}q\right)^2 + \left(\frac{1}{3}p\right)^3}}$$

гдѣ

$$p = 3ga$$

$$q = -\left(\frac{3}{\mu} \frac{g}{b} Q + V^3\right).$$

Это решение чрезвычайно громоздко для практическихъ вычисленийъ расчета отверстій, дѣлаемыхъ на практикѣ въ большомъ числѣ. Поэтому удобнѣе пользоваться приемами, указываемыми дальше.

34. Упрощеніе расчета величины отверстій и высоты подпора съ помощью таблицъ. Обратимся къ выведенной въ концѣ предыдущаго параграфа формулѣ (17)

$$b = \frac{Q}{\frac{\mu}{3g}(U^3 - V^3) + \mu a U}$$

Ее можно представить подѣ видомъ

$$b = \frac{Q}{\frac{\mu}{3g}U^3 + \mu a U - \frac{\mu}{3g}V^3}$$

или

$$b = \frac{Q}{f_1(a, U) - f_2(V)} \dots \dots \dots (19)$$

при чемъ

$$f_1(a, U) = \frac{\mu}{3g} U^3 + \mu a U = 0,0652 U^3 + 0,9 a U$$

$$f_2(V) = \frac{\mu}{3g} V^3 = 0,0652 V^3.$$

Пренебрегая скоростью подхода V , можно, на основаніи уравненія (19), принять приблизительно

$$\frac{b}{Q} = \frac{1}{f_1(U, a)}.$$

Въ нижеслѣдующей таблицѣ IV приведены значенія $\frac{b}{Q}$ (т. е.

размѣръ отверстія въ пог. саж. на каждую кубическую сажень расхода) для различныхъ глубинъ потока a и скоростей U_0 .

Т А Б Л И Ц А IV.

Устройство	Допуск. средняя скорость U_0 саж./сек.	Подпоръ h_0 соотвѣт. предѣльной скор. U_0 саж.	Глубина потока a въ саж.									
			0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	1,25	
			Величина b/Q .									
Одиночная мостовая	1,17	0,15	4,77	3,17	2,38	1,90	1,58	1,36	1,05	0,86	0,70	
Двойная мостовая	1,63	0,29	2,33	1,74	1,38	1,15	0,99	0,86	0,68	0,57	0,47	
Каменный лотокъ	2,23	0,54	1,08	0,89	0,76	0,66	0,58	0,52	0,43	0,37	0,31	

Задаваясь тѣмъ или другимъ типомъ лотка, можно по этой таблицѣ опредѣлять приближенно $\frac{b'}{Q}$, а слѣдовательно и b' . Полученный размѣръ отверстія округляютъ до соотвѣтствующаго типового отверстія b (см. численный примѣръ въ концѣ этого параграфа).

Послѣ выбора величины отверстія остается опредѣлить величину подпора h , соотвѣтствующаго дѣйствительной скорости потока U и высоту насыпи H .

Для этой цѣли уравненіе (19) можно представить подъ видомъ

$$f_1(a, U) = \frac{Q}{b} + f_2(V) (20)$$

Въ таблицѣ V даны значенія

$$f_2(V) = \frac{\mu}{3g} V^3$$

для различныхъ скоростей подхода V

Т А Б Л И Ц А V.

Скорость подхода V с./сек.	0,30	0,40	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,40	1,50
$f_2(V) = \frac{\mu}{3g} V^3$	0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,11	0,18	0,22
Подпоръ $k = \frac{V^2}{2g}$	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	0,16	0,21	0,25

Съ помощью этой таблицы, опредѣляемъ $f_2(V)$, а зная Q и b , находимъ

$$f_1(U, a) = \frac{Q}{b} + f_2(V).$$

Эту послѣднюю формулу можно привести къ виду

$$h = \Phi\left(\frac{Q}{b}, a, V\right).$$

Въ слѣдующей таблицѣ VI приведены величины подпора

$$h + k = \frac{U^2}{2g}$$

для разныхъ значеній

$$f_1(U, a) = \frac{Q}{b} + f_2(V).$$

Т А Б Л И Ц А VI.

Глубина потока a .	Величина $\frac{Q}{b} + f_2(V) = f_1(U, a)$.												
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00	1,25	1,50	2,00	2,50
	Величина $h + k = \frac{U^2}{2g}$.												
0,05	0,10	0,18	0,25	0,32	0,38	0,43	0,48	0,53	—	—	—	—	—
0,10	0,07	0,14	0,21	0,27	0,33	0,38	0,44	0,48	0,58	—	—	—	—
0,20	0,03	0,08	0,14	0,19	0,25	0,30	0,35	0,40	0,49	0,59	—	—	—
0,30	0,01	0,05	0,09	0,14	0,18	0,23	0,28	0,32	0,41	0,51	—	—	—
0,40	—	0,03	0,06	0,10	0,14	0,18	0,22	0,26	0,34	0,44	0,54	—	—
0,50	—	0,02	0,04	0,07	0,10	0,14	0,18	0,21	0,29	0,37	0,46	—	—
0,60	—	0,01	0,03	0,05	0,08	0,11	0,14	0,17	0,24	0,32	0,40	0,56	—
0,80	—	—	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	0,16	0,23	0,30	0,44	—
1,00	—	—	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,11	0,17	0,23	0,35	0,48
1,50	—	—	—	—	0,02	0,02	0,03	0,04	0,06	0,09	0,12	0,20	0,29

По этой таблицѣ можно опредѣлить

$$h + k = \frac{U^2}{2g}.$$

По таблицѣ V (или таблицѣ № 3, въ концѣ) можно опредѣлить

$$k = \frac{V^2}{2g}$$

и отсюда подпоръ

$$h = \frac{U^2}{2g} - \frac{V^2}{2g}$$

Если бы потребовалось знать скорость прохода U , ее можно было бы найти изъ таблицы № 3, зная h .

По глубинѣ a и подпору h можно опредѣлить высоту насыпи

$$H = a + h + z + d.$$

Конструктивная высота d для желѣзо-бетонныхъ шоссеиныхъ мостовъ дана въ слѣдующей таблицѣ VII.

Т А Б Л И Ц А VII.

Конструктивная высота d отъ подферменной площадки до бровки обочины полотна, для желѣзобетонныхъ шоссеиныхъ мостовъ по типамъ инженера И. А. Кирѣенко *).

	Плитовидные.		Балочные мосты.						
Отверстіе моста b , саж.	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	5,00
Конструктивная высота d , саж.	0,16	0,20	0,25	0,29	0,32	0,37	0,42	0,47	0,60

Что касается до возвышенія z подферменной площадки надъ подпорнымъ горизонтомъ, то для дорожныхъ сооружений его берутъ 0,15—0,25 саж.

Слѣдующій примѣръ показываетъ пользованіе таблицами.

Примѣръ. Опредѣлимъ отверстие моста при расходѣ $Q = 1,80$ куб. саж./сек., глубинѣ $a = 0,30$ саж./сек. и скорости подхода $V = 0,48$ саж./сек. (см. примѣръ § 30).

*) И. А. Кирѣенко. Земскіе желѣзобетонные балочные мосты. Кіевъ, 1914 г.

По таблицѣ IV, для глубины 0,30, находимъ

Устройство лотка.	$\frac{b}{Q}$ для $a=0,30$.	Отверстіе b при расходѣ $Q=1,80$ куб. с./сек.
Одночная мостовая . . .	2,38	4,28 саж.
Двойная мостовая	1,38	2,48 "
Каменный лотокъ	0,76	1,37 "

Такъ какъ каменный лотокъ для отверстія 1,50 саж. будетъ стоить дорого, то останавливаемся на двойной мостовой и округляемъ отверстіе до 3,00 саж.

Для такого отверстія и скорости $V=0,48$ саж., получимъ, по таблицѣ V, $f_2(V)=0,01$.

Откуда

$$f_1(U, a) = \frac{Q}{b} + f_2(V) = \frac{1,80}{3} + 0,01 = 0,61.$$

По этому значенію $f_1(U, a)$ находимъ, изъ таблицы VI, для глубины $a=0,30$ саж. величину $h+k=0,23$ саж.

Отсюда подпоръ h , (по табл. V)

$$h = 0,23 - k = 0,23 - 0,02 = 0,21 \text{ саж.}$$

Соотвѣтствующая скорость прохода воды черезъ сооруженіе (по табл. № 3, для $\frac{U^2}{2g} = h+k=0,23$ саж.).

$$U = 1,46 \text{ саж.}$$

Наименьшая высота насыпи, полагая

$$z = 0,20 \text{ саж. и } d = 0,37 \text{ саж. (табл. VII).}$$

$$H = a + h + z + d = 0,30 + 0,21 + 0,20 + 0,37 = 1,08 \text{ саж.}$$

Этотъ примѣръ указываетъ, насколько таблицы IV и VI упрощаютъ опредѣленіе отверстія и высоты насыпи, сравнительно съ общепринятымъ методомъ расчета.

35. Примѣненіе графика № 6 для опредѣленія величины отверстія. Вычисленія съ помощью таблицы IV въ § 34 могутъ быть еще болѣе упрощены путемъ пользованія графикомъ № 6.

На этомъ графикѣ нанесены три пучка лучей, изъ которыхъ первый соответствуетъ укрѣпленію лотка мостика одиночной мостовой, второй двойной мостовой и третій каменному лотку. По оси ординатъ, во всѣхъ трехъ частяхъ, отложены расходы, отъ 0 до 5,0 куб. саж./сек., а по оси абсциссъ отложены отверстія въ сажняхъ, отъ 1,0 до 7,0 саж. (для каменнаго лотка до 3,5 саж.). На лучахъ написаны глубины потока a въ сажняхъ.

Какъ показано, для примѣра, пунтиромъ, для глубины $a=0,25$ с. и расхода $Q=1,20$ куб. саж./сек., находимъ, безъ всякихъ вычисленій отверстія

$$\begin{aligned} \text{для одиночной мостовой } b' &= 3,3 \text{ саж.} \\ \text{„ двойной } & \text{„ } b'' = 1,8 \text{ „} \\ \text{„ каменнаго лотка } & b''' = 1,0 \text{ „} \end{aligned}$$

Округляя эти отверстія, можемъ выбрать окончательно b , (напримѣръ $b=2,0$ саж. при двойной мостовой, или $b=1,0$ саж. при каменномъ лоткѣ),

Графикомъ этимъ также можно пользоваться для величинъ пропорціональныхъ. Такъ, напр., для $Q=0,2$ куб. саж./сек., можно брать значенія для $Q=2$ и уменьшать въ 10 разъ.

36. Примѣненіе графиковъ № 7 и № 8 для опредѣленія величины подпора h , соответствующаго выбранному отверстию. Графики № 7 и № 8 предназначены для пользованія взаимныя таблицы VI, въ § 34.

На графикѣ № 7, по оси абсциссъ отложены значенія

$$f_1(U, a) = \frac{Q}{b} + f_2(v)$$

въ предѣлахъ отъ 0 до 0,70.

На лучахъ написаны глубины потока a . По оси ординатъ отложена величина

$$h + k = \frac{U^2}{2g}$$

зная которую, и зная по таблицѣ № 3, или № V, величину

$$k = \frac{V^2}{2g}$$

можно опредѣлить величину подпора

$$h = \frac{U^2}{2g} - \frac{V^2}{2g}$$

Примѣръ. Пусть $Q = 0,70$ куб. саж./сек., $b = 2,00$ саж.,
 $v = 0,30$ саж./сек., $f_2(V) = 0$, $k = 0,01$. Тогда, какъ показано
 на графикѣ № 7 пунктиромъ:

для $f_1(U, a) = \frac{0,70}{2} + 0,00 = 0,35$ и для глубины $a = 0,25$, $h + k = 0,14$ саж. подборъ $h = 0,13$ саж.	Для $f_1(U, a) = 0,61$ саж. $a = 0,25$ саж. $h + k = 0,26$ саж. и т. д.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------

Графикъ № 8 построенъ также, какъ № 7, только величина
 $f_1(U, a)$ отложена по оси абсциссъ въ предѣлахъ отъ 0,6 до 2,0.

Поэтому если $Q/b < 0,6$ надо пользоваться графикомъ № 7,
 если $Q/b > 0,6$, то графикомъ № 8.

ТАБЛИЦА № 1.

Значение коэффициента $C\sqrt{R}$ въ формулѣ Базена для земляного русла (въ саженьяхъ).

$$C\sqrt{R} = \frac{R}{\sqrt{0,00059738 R + 0,00035}}$$

Примѣръ. Пусть $R = 0,21$ $i = 0,012$, русло земляное, изъ таблицы № 1 — $C\sqrt{R} = 9,631$, изъ таблицы № 2 — $\sqrt{i} = 0,1095$, тогда скорость по Дарси-Базену

$$v = C\sqrt{R}i = 9,631 \times 0,1095 = 1,055 \text{ саж./сек.}$$

R	$C\sqrt{R}$	R	$C\sqrt{R}$	R	$C\sqrt{R}$	R	$C\sqrt{R}$	R	$C\sqrt{R}$
0,000	0,000	80	4,011	60	7,581	40	10,805	40	14,457
5	0,266	5	4,246	5	7,791	5	10,997	50	14,802
10	0,530	90	4,479	70	8,000	50	11,187	60	15,145
5	0,792	5	4,710	5	8,208	5	11,377	70	15,484
20	1,051	0,100	4,940	80	8,415	60	11,566	80	15,819
5	1,309	5	5,168	5	8,621	5	11,753	90	16,152
30	1,564	10	5,395	90	8,825	70	11,940	0,40	16,482
5	1,817	5	5,620	5	9,028	5	12,125	1	16,809
40	2,069	20	5,844	0,200	9,230	80	12,310	2	17,134
5	2,318	5	6,066	5	9,431	5	12,494	3	17,455
50	2,565	30	6,286	10	9,631	90	12,677	4	17,774
5	2,811	5	6,505	5	9,829	5	12,860	5	18,090
60	3,055	40	6,723	20	10,027	0,300	13,041	6	18,403
5	3,296	5	6,939	5	10,223	10	13,400	7	18,714
70	3,536	50	7,154	30	10,418	20	13,756	8	19,022
5	3,775	5	7,368	5	10,612	30	14,108	9	19,323
80	4,011	60	7,581	40	10,805	40	14,457	0,50	19,631

<i>R.</i>	$CV\sqrt{R.}$	<i>R.</i>	$CV\sqrt{R.}$	<i>R.</i>	$CV\sqrt{R.}$	<i>R.</i>	$CV\sqrt{R.}$	<i>R.</i>	$CV\sqrt{R.}$
0,50	19,631	5	26,549	1,00	32,489	5	37,745	1,50	42,493
1	19,932	6	26,803	1	32,711	6	37,944	2	42,855
2	20,231	7	27,055	2	32,982	7	38,142	4	43,214
3	20,528	8	27,306	3	33,152	8	38,339	6	43,571
4	20,822	9	27,556	4	33,370	9	38,535	8	43,925
5	21,144	0,80	27,804	5	33,588	1,30	38,731	1,60	44,277
6	21,404	1	28,050	6	33,805	1	38,926	5	45,147
7	21,692	2	28,295	7	34,021	2	39,120	70	46,004
8	21,977	3	28,539	8	34,235	3	39,313	5	46,847
9	22,260	4	28,781	9	34,449	4	39,506	80	47,678
0,60	22,543	5	29,022	1,10	34,662	5	39,698	5	48,497
1	22,822	6	29,262	1	34,874	6	39,889	90	49,304
2	23,100	7	29,501	2	35,085	7	40,079	5	50,101
3	23,376	8	29,738	3	35,295	8	40,269	2,00	50,886
4	23,650	9	29,973	4	35,504	9	40,458	10	52,426
5	23,922	0,90	30,208	5	35,712	1,40	40,647	20	53,928
6	24,192	1	30,141	6	35,919	1	40,834	30	55,394
7	24,461	2	30,674	7	36,125	2	41,021	40	56,326
8	24,728	3	30,905	8	36,331	3	41,208	2,50	58,227
9	24,993	4	31,134	9	36,535	4	41,393		
0,70	25,256	5	31,363	1,20	36,739	5	41,578		
1	25,518	6	31,590	1	36,942	6	41,762		
2	25,778	7	31,817	2	37,144	7	41,946		
3	26,037	8	32,042	3	37,345	8	42,129		
4	26,294	9	32,266	4	37,545	9	42,311		
5	26,549	1,00	32,489	5	37,745	1,50	42,493		

ТАБЛИЦА № 2

корней квадратных для уклоновъ русла i , т. е. величинъ \sqrt{i} .

Примѣръ см. табл. № 1.

i .	\sqrt{i} .	i .	\sqrt{i} .	i .	\sqrt{i} .	i .	\sqrt{i} .	i .	\sqrt{i} .
0,0010	0,0316								
0,0020	0,0447	9	0,0624	58	0,0762	7	0,0877	96	0,0980
1	0,0458	0,0040	0,0632	9	0,0768	78	0,0883	7	0,0985
22	0,0469	1	0,0640	0,0060	0,0775	9	0,0889	98	0,0990
3	0,0479	42	0,0648	1	0,0781	0,0080	0,0894	99	0,0995
24	0,0490	3	0,0656	62	0,0787	1	0,0900	0,0100	0,1000
5	0,0500	44	0,0663	3	0,0794	82	0,0905	10	0,1049
26	0,0510	5	0,0671	64	0,0800	3	0,0911	120	0,1095
7	0,0520	46	0,0678	5	0,0806	84	0,0916	30	0,1140
28	0,0529	7	0,0685	66	0,0812	5	0,0922	140	0,1183
9	0,0538	48	0,0693	7	0,0818	86	0,0927	50	0,1225
0,0030	0,0548	9	0,0700	68	0,0825	7	0,0933	160	0,1265
1	0,0557	0,0050	0,0707	9	0,0831	88	0,0938	70	0,1304
32	0,0566	1	0,0714	0,0070	0,0837	9	0,0943	180	0,1342
3	0,0574	52	0,0721	1	0,0843	0,0090	0,0949	90	0,1378
34	0,0583	3	0,0728	72	0,0848	1	0,0954	0,0200	0,1414
5	0,0592	54	0,0735	3	0,0854	92	0,0959	0,021	0,1449
36	0,0600	5	0,0742	74	0,0860	3	0,0964	22	0,1483
7	0,0608	56	0,0748	5	0,0866	94	0,0969	3	0,1516
38	0,0616	7	0,0755	76	0,0872	5	0,0975	24	0,1549
9	0,0624	58	0,0762	7	0,0877	96	0,0980	0,025	0,1581

i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}	i	\sqrt{i}
0,025	0,1581	0,050	0,2236	0,075	0,2739	0,100	0,3162	0,225	0,4743
26	0,1612	1	0,2258	76	0,2757	105	0,3240	0,230	0,4796
7	0,1643	52	0,2280	7	0,2775	110	0,3316	235	0,4818
28	0,1673	3	0,2302	78	0,2793	115	0,3391	0,240	0,4899
9	0,1703	54	0,2324	9	0,2811	120	0,3464	245	0,4950
0,030	0,1732	0,055	0,2345	0,080	0,2828	0,125	0,3535	0,250	0,5000
1	0,1761	56	0,2366	1	0,2846	130	0,3605	255	0,5050
32	0,1789	7	0,2387	82	0,2864	135	0,3674	0,260	0,5099
3	0,1817	58	0,2408	3	0,2881	140	0,3742	265	0,5148
34	0,1844	9	0,2429	84	0,2898	145	0,3807	0,270	0,5196
0,035	0,1871	0,060	0,2449	0,085	0,2915	0,150	0,3873	275	0,5244
36	0,1897	1	0,2470	86	0,2933	155	0,3937	0,280	0,5292
7	0,1923	62	0,2490	7	0,2950	0,160	0,4000	285	0,5338
38	0,1949	3	0,2510	88	0,2966	165	0,4062	0,290	0,5385
9	0,1975	64	0,2530	9	0,2983	0,170	0,4123	295	0,5431
0,040	0,2000	0,065	0,2550	0,090	0,3000	175	0,4183	0,300	0,5478
1	0,2025	66	0,2569	1	0,3017	0,180	0,4243		
42	0,2049	7	0,2588	92	0,3033	185	0,4301		
3	0,2074	68	0,2608	3	0,3050	0,190	0,4359		
44	0,2098	9	0,2627	94	0,3066	195	0,4416		
0,045	0,2121	0,070	0,2646	0,095	0,3082	0,200	0,4472		
46	0,2145	1	0,2665	96	0,3098	205	0,4528		
7	0,2168	72	0,2683	7	0,3114	0,210	0,4582		
48	0,2191	3	0,2702	98	0,3130	215	0,4637		
9	0,2214	74	0,2720	9	0,3146	0,220	0,4690		
0,050	0,2236	0,075	0,2739	0,100	0,3162	225	0,4743		

ТАБЛИЦА № 3

высота $h = \frac{v^2}{2g}$, для разных v , въ саженьяхъ/въ секунду.

v .	h .	v .	h .	v .	h .	v .	h .
0,00	0,000	1,30	0,184	1,65	0,296	2,00	0,435
0,05	0,000	1,31	0,186	1,66	0,300	2,01	0,439
0,10	0,001	1,32	0,189	1,67	0,303	2,02	0,444
0,15	0,002	1,33	0,192	1,68	0,307	2,03	0,448
0,20	0,004	1,34	0,195	1,69	0,310	2,04	0,452
0,25	0,007	1,35	0,198	1,70	0,314	2,05	0,457
0,30	0,010	1,36	0,201	1,71	0,318	2,06	0,461
0,35	0,013	1,37	0,204	1,72	0,322	2,07	0,466
0,40	0,017	1,38	0,207	1,73	0,325	2,08	0,470
0,45	0,022	1,39	0,210	1,74	0,329	2,09	0,475
0,50	0,027	1,40	0,213	1,75	0,333	2,10	0,479
0,55	0,033	1,41	0,216	1,76	0,337	2,11	0,484
0,60	0,039	1,42	0,219	1,77	0,341	2,12	0,489
0,65	0,046	1,43	0,222	1,78	0,344	2,13	0,493
0,70	0,053	1,44	0,225	1,79	0,348	2,14	0,498
0,75	0,061	1,45	0,228	1,80	0,352	2,15	0,502
0,80	0,070	1,46	0,231	1,81	0,356	2,16	0,507
0,85	0,079	1,47	0,235	1,82	0,360	2,17	0,512
0,90	0,088	1,48	0,238	1,83	0,364	2,18	0,517
0,95	0,098	1,49	0,241	1,84	0,368	2,19	0,521
1,00	0,109	1,50	0,245	1,85	0,372	2,20	0,526
1,05	0,119	1,51	0,248	1,86	0,376	2,21	0,531
1,10	0,131	1,52	0,251	1,87	0,380	2,22	0,536
1,15	0,144	1,53	0,254	1,88	0,384	2,23	0,541
1,20	0,157	1,54	0,258	1,89	0,388	2,24	0,545
1,21	0,159	1,55	0,261	1,90	0,392	2,25	0,550
1,22	0,162	1,56	0,264	1,91	0,396	2,26	0,555
1,23	0,164	1,57	0,268	1,92	0,401	2,27	0,560
1,24	0,167	1,58	0,271	1,93	0,405	2,28	0,565
1,25	0,169	1,59	0,275	1,94	0,409	2,29	0,570
1,26	0,172	1,60	0,278	1,95	0,413	2,30	0,575
1,27	0,175	1,61	0,282	1,96	0,418		
1,28	0,178	1,62	0,285	1,97	0,422		
1,29	0,181	1,63	0,289	1,98	0,426		
1,30	0,184	1,64	0,292	1,99	0,430		

Образецъ новаго бланка № 1, (по трафикамъ).

КЪ ПРОЕКТУ МОСТА №

Уѣздъ
 Дорога
 Участокъ
 Верста . . . пикеть . . + . .
 Принятое отверстіе саж.
 Высота насыпи саж.

А. Расчетъ отверстія моста.

1. Опредѣленіе расхода воды.

Д а н н ы я:

Эскизъ плана бассейна:

Площадь бассейна $F =$. . . кв. вер.

Длина бассейна $L =$. . . версть.

Принятый ливень:

безъ запаса (60 мм. въ часъ),

$D = 1,95$ куб. саж. въ сек./съ кв. версты.

съ запасомъ (100 мм. въ часъ),

$D' = 3,26$ куб. саж. въ сек./съ кв. версты.

Продолжительность ливня:

$t = 30$ мин. = 1800 сек.

Масштабъ:

Принятый коэффи-
циентъ $m =$

П о ч в а б а с с е й н а:

скалистая глинистая песчаноглинистая песчаная торфяная

.....

Р а с т и т е л ь н о с т ь :

много мало лѣсъ кустарникъ лугъ пашня

болотный камышъ мохъ.

Принятый коэффициентъ $\psi =$

С к а т ы б а с с е й н а :

крутые средніе пологіе

талъвеговъ незамѣтно одинъ талъвегъ много талъвеговъ

оврагъ съ склонами

бассейнъ изрытъ дѣйствующими оврагами.

Принятая средняя скорость стока $v =$ саж/сек.

Т А Б Л И Ц А № 1.

Величина множителя А.

ИНТЕНСИВНОСТЬ ЛИВНЯ.	Песчаный грунтъ, лѣ- систая, бо- лотистая, ровная мѣстность съ застоємъ воды.	Среднія условія.	Скалистый непроницае- мый грунтъ, отсутствіе раститель- ности, нѣтъ застоя воды послѣ дождя.
	$\psi = 0,15.$	$\psi = 0,25.$	$\psi = 0,35.$
Для сооружений, не требующихъ запаса (ливень 60 мм. въ часъ) $D = 1,95$ куб. саж. въ сек./съ кв. вер.	1	1,75	2,5
Для сооружений съ запасомъ (ли- вень 100 мм. въ часъ) $D = 3,26$ куб. саж. въ сек./съ кв. версты	1,75	3,0	4,0

Принятое значеніе множителя $A = \frac{D\psi t}{500} =$

ТАБЛИЦА № 2.

Величина множителя В.

ПОВЕРХНОСТЬ БАССЕЙНА.	Очертаніе бассейна.		
	Прямо- угольное $m=1.$	Среднее. $m=1,5.$	Треугольное. $m=2.$
Пологіе склоны, мало изрѣзанные ручьями $v=0,20$ саж./сек.	0,2	0,3	0,4
Среднія условія $v=0,40$ саж./сек.	0,4	0,6	0,8
Крутые склоны, изрытые ручьями и оврагами $v=0,60$ саж./сек.	0,6	0,9	1,2

Принятое значеніе множителя $B=mv =$

Расходъ воды:

$$Q = A \times B \times \frac{F}{L} = . . . \times . . . \times \text{---} = . . . \text{ куб. саж./сек.}$$

II. Опредѣленіе глубины потока и горизонта высокихъ водъ.

Поперечный профиль русла у сооруженія:

Уклонъ русла на 100 саж. выше отверстія, $i =$

Обратная величина уклоновъ откосовъ русла

$$n = \left(\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2} \right) = =$$

Подбирая, съ помощью графиковъ № 1 и № 2, а также переходныхъ формулъ, горизонтъ высокихъ водъ, соответствующій вышенайденному расходу, находимъ его при отмѣткѣ т. е. при наибольшей глубинѣ $a =$ саж.

Дѣйствительно, при этомъ горизонтѣ, площадь живого сѣченія

$$\omega = \dots \dots \dots = \dots \dots \dots \text{ кв. саж.}$$

Подводный периметръ $p = \dots \dots \dots = \dots \dots \dots$ погон. саж.

Подводный радиусъ $R = \frac{\omega}{p} = \dots \dots \dots = \dots \dots \dots$ саж.

Средняя скорость подхода воды, по Дарси-Базену, опредѣляется по одному изъ графиковъ №№ 3, 4, 5, для уклона i и радиуса R , въ размѣрѣ $V = C \sqrt{Ri} = \dots \dots \dots$ саж./въ сек.

Тогда расходъ $Q' = \omega \times V = \dots \dots \times \dots \dots = \dots \dots$ куб. саж. въ секунду, что близко подходит по величинѣ къ расходу $Q = \dots \dots$ куб. саж./въ сек. найденному выше, а потому найденная выше глубина $a = \dots \dots$ саж. принимается за дѣйствительную, и горизонтъ при отмѣткѣ $\dots \dots$ саж. за наиболѣе высокій горизонтъ.

III. Опредѣленіе величины отверстія моста.

Отверстіе опредѣляется по формулѣ:

$$b = \frac{Q}{\mu \sqrt{2g} \frac{1}{3} [(h+k)^{3/2} - k^{3/2}] + a(h+k)^{1/2}}$$

Пользуясь графикомъ № 6, получаемъ при расходѣ $Q = \dots \dots$ куб. саж./въ сек., глубинѣ $a = \dots \dots$ саж. и для русла, покрытаго:

	одиночной мостовой.	двойной мостовой.	каменнымъ лоткомъ.
	$U_0 = 1,17$ саж./сек.	$U_0 = 1,63$ саж./сек.	$U_0 = 2,23$ саж./сек.
Приблизительную величину отверстія .	$b_1 = \dots \dots$ саж.	$b_2 = \dots \dots$ саж.	$b_3 = \dots \dots$ саж.

Выбираемъ русло, покрытое $\dots \dots \dots$ мостовой и окончательную величину отверстія $b = \dots \dots \dots$ саж.

IV. Опредѣленіе подпорнаго горизонта и наименьшей высоты насыпи.

По таблицѣ V находимъ, при скорости $V = \dots \dots$ саж./сек., $f_2(V) = \dots \dots$ саж. Откуда, при расходѣ $Q = \dots \dots$ куб. саж.

и принятой величинѣ отверстія $b = \dots$ саж. получаемъ
 $f_1 (U, a) = \frac{Q}{b} + f_2 (V) = \dots + \dots = \dots$

По графику № 7 или 8 находимъ для глубины $a = \dots$ саж.,
 и величины $f_1 (U, a) = \dots$, величину $h + k = \frac{U^2}{2g} = \dots$ саж.
 и, соотвѣтственно, скорость прохода черезъ сооруженіе (по табл. № 3)
 $U = \dots$ саж./сек.

Далѣе, зная по табл. № 3 для $V = \dots$, $k = \frac{V^2}{2g} = \dots$ саж.
 получимъ величину подпора

$$h = \frac{U^2}{2g} - \frac{V^2}{2g} = \dots - \dots = \dots \text{ саж.}$$

Отсюда высота подпорнаго горизонта надъ дномъ русла
 $a + h = \dots + \dots = \dots$ саж. при отмѣткѣ \dots саж.

Возвышеніе подферменной площадки надъ подпорнымъ гори-
 зонтомъ принимаемъ $z = \dots$ саж.

Конструктивная высота отъ подферменной площадки до бровки
 полотна, для моста отверстіемъ \dots саж., принимается $d = \dots$

Наименьшая высота насыпи

$H = a + h + z + d = \dots + \dots + \dots + \dots = \dots$ саж.
 и соотвѣтствующая наименьшая проектная отмѣтка \dots саж.

Б. Д а н н ы я б у р е н і я .

В. Д а н н ы я д л я с м ѣ т ы .

- 1) Высота насыпи \dots саж.
- 2) Глубина фундаментовъ \dots саж.
- 3) Объемъ котловановъ \dots куб. саж.
- 4) Объемъ кладки фундаментовъ \dots куб. саж.
- 5) Объемъ кладки опоръ \dots куб. саж.

- 6) Искусственное основаніе:
- а) Объемъ бетонныхъ подушекъ . . . куб. саж.
 - б) Свай длиною . . . саж. . . штукъ.
 - в) Шпунтоваго огражденія изъ досокъ
длинною . . . саж. . . пог. саж.
- 7) Укрѣпленіе лотка, конусовъ, подхода и выхода:
- а) Укрѣпленіе лотка . . . кв. саж.
 - б) Укрѣпленіе конусовъ . . . кв. саж.
 - в) Укрѣпленіе подхода и выхода . . . кв. саж.
- 8) Пролетное строеніе типъ № . . .

Инженеръ

Образецъ новаго бланка № 2 (по таблицамъ).

КЪ ПРОЕКТУ МОСТА №

Уѣздъ
 Дорога
 Участокъ
 Верста . . . пикеть . . + . .
 Принятое отверстіе саж.
 Высота насыпи саж.

А. Расчетъ отверстія моста.

1. Опредѣленіе расхода воды.

Д а н н ы я:

Эскизъ плана бассейна:

Площадь бассейна $F =$ кв. вер.

Длина бассейна $L =$ версть

Принятый ливень:

безъ запаса (60 мм. въ часъ)

$D = 1,95$ куб. саж. въ сек./съ кв. вер.

Масштабъ:

съ запасомъ (100 мм. въ часъ)

$D' = 3,26$ куб. саж. въ сек./съ кв. вер.

Принятый коэффи-
циентъ $m =$

Продолжительность ливня

$t = 30$ мин. $= 1800$ сек.

П о ч в а б а с с е й н а:

скалистая глинистая песчаноглинистая песчаная торфяная

.....

ТАБЛИЦА № 2.

Величина множителя Б.

ПОВЕРХНОСТЬ БАССЕЙНА.	Очертаніе бассейна.		
	Прямо- угольное $m=1.$	Среднее $m=1,5.$	Треугольное $m=2.$
Пологіе склоны, мало изрѣзанные ручьями $v=0,20$ саж./сек.	0,2	0,3	0,4
Среднія условія $v=0,40$ саж./сек.	0,4	0,6	0,8
Крутые склоны, изрытые ручьями и оврагами $v=0,60$ саж./сек.	0,6	0,9	1,2

Принятое значеніе множителя $B = mv = . . .$

Расходъ воды:

$$Q = A \times B \times \frac{F}{L} = . . . \times . . . \times \frac{. . .}{. . .} = . . . \text{ куб. саж./сек.}$$

II. Опредѣленіе глубины потока и горизонта высокихъ водъ.

Поперечный профиль русла у сооруженія:

Уклонъ русла на 100 саж. выше отверстія $i =$

Обратная величина уклоновъ откосовъ

$$n = \left(\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2} \right) = =$$

Подбирая, съ помощью графиковъ № 1 и № 2, а также переходныхъ формуль, горизонтъ высокихъ водъ, соответствующій вышенайденному расходу, находимъ его при отмѣтѣ т. е. при наибольшей глубинѣ $a =$ саж.

Дѣйствительно, при этомъ горизонтѣ, площадь живого сѣченія
 $\omega = \dots = \dots$ кв. саж.

Подводный периметръ $p = \dots = \dots$ погон. саж.

Подводный радиусъ $R = \frac{\omega}{p} = \dots = \dots$ саж.

Средняя скорость подхода воды, по Дарси-Базену $V = C\sqrt{Ri}$.

По таблицѣ № 1, величина $C\sqrt{R}$ для земляного русла, при $R = \dots$
 $C\sqrt{R} = \dots$

По таблицѣ № 2, величина \sqrt{i} , для уклона $i = \dots$,
 $\sqrt{i} = \dots$

Отсюда скорость

$V = C\sqrt{R} \times \sqrt{i} = \dots \times \dots = \dots$ саж. въ сек.

Тогда расходъ

$Q' = \omega \times V = \dots \times \dots = \dots$ куб. саж. въ сек.,
 что близко подходит по величинѣ къ расходу $Q = \dots$ куб.
 саж. въ сек., найденному выше, а потому найденная выше гл-
 бина $a = \dots$ саж. принимается за дѣйствительную и гори-
 зонтъ при отмѣткѣ \dots за наиболѣе высокій горизонтъ.

III. Опредѣленіе величины отверстія моста.

Отверстіе опредѣляется по формулѣ:

$$b = \frac{Q}{\mu \sqrt{2g} \left\{ \frac{2}{3} [(h+k)^{3/2} - k^{3/2}] + a(h+k)^{1/2} \right\}}$$

Пользуясь таблицей № IV, получаемъ, при глубинѣ потока
 $a = \dots$ саж. и расходъ $Q = \dots$ куб. саж./сек.
 для русла, покрытаго:

	Допустимая скорость $U_0 =$	Величина $\frac{b}{Q}$	Приблизи- тельная величина $b =$
одиночной мостовой	1,17 саж./сек.		
двойной мостовой	1,63 "		
каменнымъ лоткомъ	2,23 "		

Выбираемъ русло, покрытое и окончательную
 величину отверстія $b = \dots$ саж.

IV. Определение подпорного горизонта и наименьшей высоты насыпи.

По таблицѣ № V находимъ, при скорости $V \dots$ саж./сек.,
 $f_2 (V) = \dots$

Откуда, при расходѣ $Q = \dots$ куб. саж./сек. и принятой
 величинѣ отверстия $b = \dots$ саж. получаемъ

$$f_1 (U, a) = \frac{Q}{b} + f_2 (V) = \dots + \dots = \dots$$

По таблицѣ № VI находимъ для глубины $a = \dots$ саж. и
 величины $f_1 (U, a) = \dots$ величину $h + k = \frac{U^2}{2g} = \dots$ саж.
 и (по табл. № 3) соответственно скорость прохода через со-
 оруженіе $U = \dots$ саж./сек.

Далѣе, зная по табл. № 3 для $V = \dots$, $k = \frac{V^2}{2g} = \dots$ саж.
 находимъ величину подпора

$$h = \frac{U^2}{2g} - \frac{V^2}{2g} = \dots - \dots = \dots \text{ саж.}$$

Отсюда высота подпорного горизонта надъ дномъ русла
 $a + h = \dots + \dots = \dots$ саж. при отмѣткѣ \dots саж.

Возвышеніе подферменной площадки надъ подпорнымъ гори-
 зонтомъ принимаемъ $z = \dots$ саж.

Конструктивная высота отъ подферменной площадки до бровки
 полотна, для моста отверстиемъ \dots саж., принимается $d = \dots$

Наименьшая высота насыпи

$H = a + h + z + d = \dots + \dots + \dots + \dots = \dots$ саж.
 и соответствующая наименьшая проектная отмѣтка \dots саж.

Б. Д а н н ы я б у р е н і я .

В. Д а н н ы я д л я с м ѣ т ы .

- 1) Высота насыпи \dots саж.
- 2) Глубина фундаментовъ \dots саж.
- 3) Объемъ котловановъ \dots куб. саж.

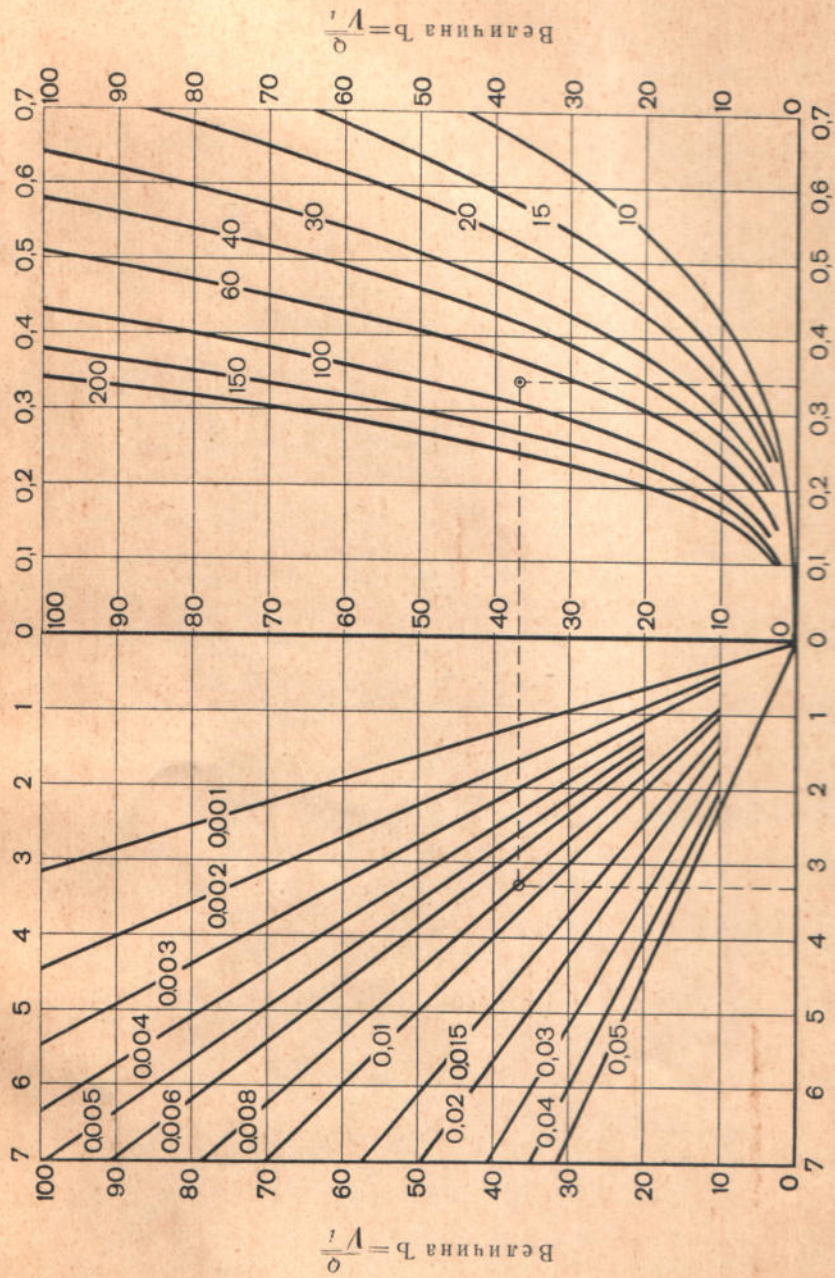
- 4) Объемъ кладки фундаментовъ куб. саж.
- 5) Объемъ кладки опоръ куб. саж.
- 6) Искусственное основаніе:
- а) Объемъ бетонныхъ подушекъ . . . куб. саж.
- б) Свай длиною саж. . . . штукъ.
- в) Шпунтоваго огражденія изъ досокъ
длинною саж. . . . пог саж.
- 7) Укрѣпленіе лотка, конусовъ, подхода и выхода:
- а) Укрѣпленіе лотка кв. саж.
- б) Укрѣпленіе конусовъ кв. саж.
- в) Укрѣпленіе подхода и выхода . . . кв. саж.
- 8) Пролетное строеніе типъ №

Инженеръ

Приближенная глубина потока $a = 0,43 \sqrt[3]{\frac{Q}{n}}$ саж., в зависимости от продольного и поперечных уклонов русла.

(для больших расходов, от 1 до 7 $\frac{\text{куб. саж.}}{\text{в}^2 \text{сек.}}$)

Расход Q в $\frac{\text{куб. саж.}}{\text{в}^2 \text{сек.}}$ Глубина a в саж.



Глубина a в саж.

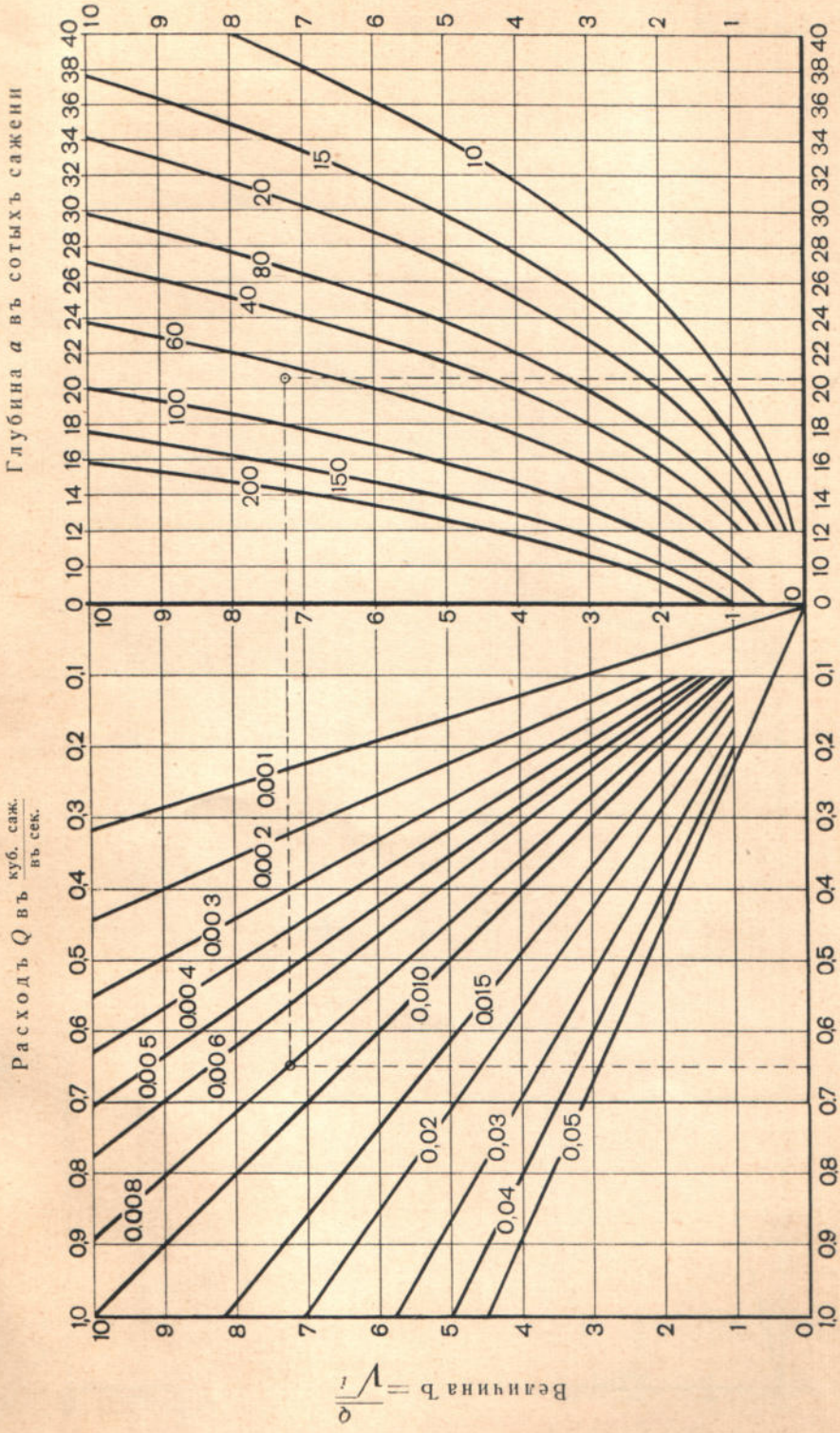
Расход Q в $\frac{\text{куб. саж.}}{\text{в}^2 \text{сек.}}$

На левую часть графика написаны продольные уклоны потока i_1 в тысячных

... правой ... величины $n = \left(\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2} \right)$, где i_1 и i_2 — поперечные уклоны откосов русла.

Пример. Для $Q = 3,3 \frac{\text{куб. саж.}}{\text{в}^2 \text{сек.}}$, $i = 0,008$ находим в левой части $B = 37$ и, переходя, как показано пунктиром, в правую часть, получаем, при $n = 75$, глубину $a = 0,34$ саж.

Приближенная глубина потока $a = 0,43 \sqrt[3]{\frac{Q}{n}}$ саж., в зависимости отъ продольного и поперечныхъ уклоновъ русла,
 (для малыхъ расходовъ, отъ 0,1 до 1,0 $\frac{\text{куб. саж.}}{\text{въ сек.}}$)

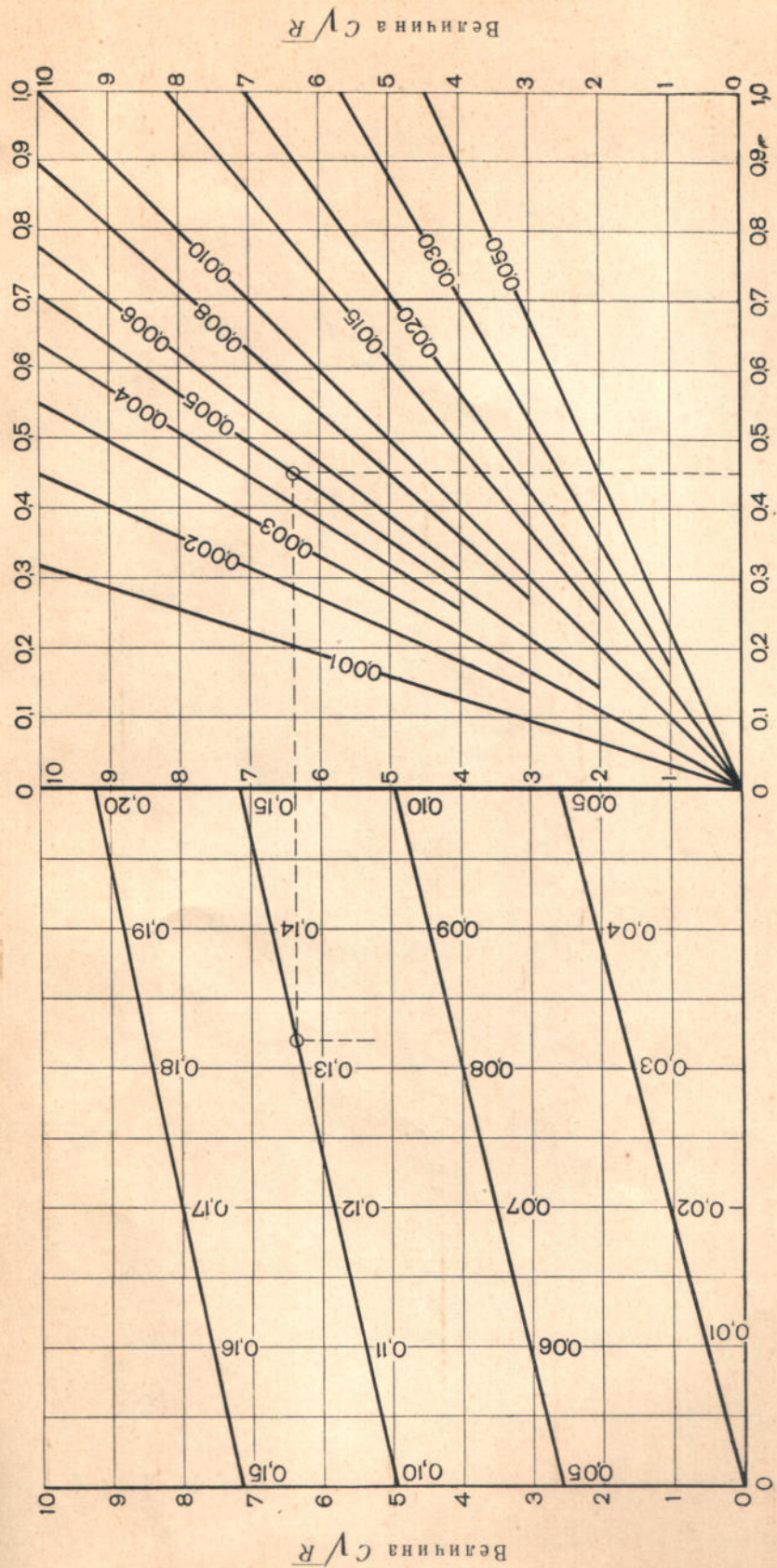


Расходъ Q въ $\frac{\text{куб. саж.}}{\text{въ сек.}}$
 Глубина a въ сотыхъ сажени
 На лѣвую часть написаны продольные уклоны потока i въ тысячныхъ
 „ „ правой „ „ величины $n = \left(\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2}\right)$ гдѣ i_1 и i_2 — поперечные уклоны откосовъ русла.
 Примеръ. Для $Q = 0,65$ куб. саж., $i = 0,008$ и $n = 70$, находимъ $a = 0,21$ саж.
 въ сек.

Скорость подхода $V = C\sqrt{Ri}$,

въ сажняхъ въ секунду, въ зависимости отъ подводнаго радиуса R и уклона потока i , для величинъ R отъ 0,01 до 0,20 саж. и величинъ i отъ 0,001 до 0,20 саж. въ сек.

Подводный радиусъ R



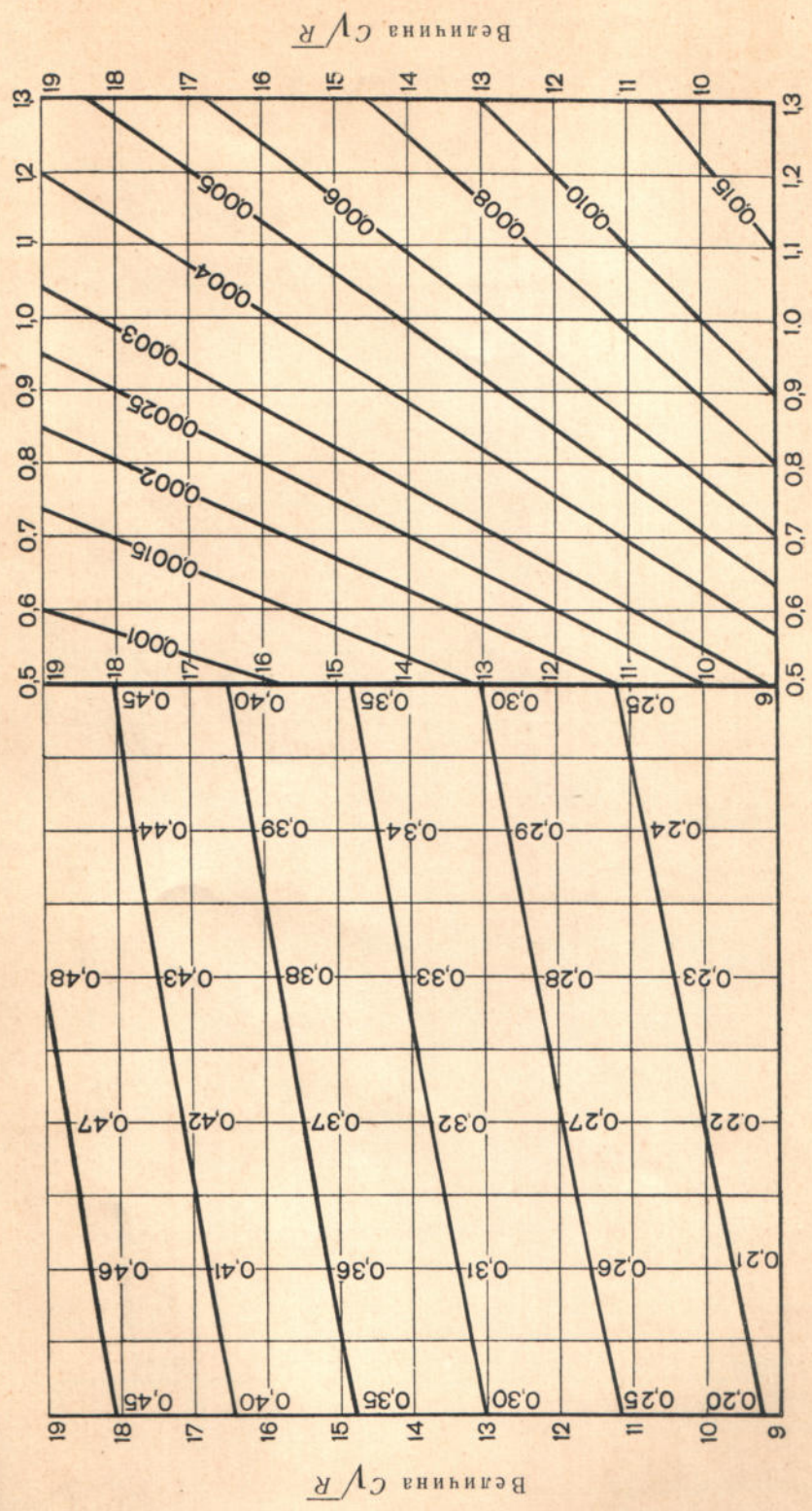
Скорость V въ саж. въ сек.

Подводный радиусъ R

Вдоль наклонныхъ линий въ лѣвой части показаны величины подводнаго радиуса R въ сажняхъ, отъ 0,00 до 0,20 саж.; промежуточные величины определяются интерполированиемъ. На лучахъ въ правой части показаны величины i уклона потока.

Примѣръ. Для $R = 0,132$ находимъ въ лѣвой части $C\sqrt{R} = 6,4$ и, переходя, какъ показано пунктиромъ, въ правую часть, получаемъ для уклона $i = 0,005$, скорость $V = 0,45$ въ сек.

Скорость подхода $V = C\sqrt{Ri}$,
 въ сажняхъ въ секунду, въ зависимости отъ подводнаго радиуса R и уклона потока i , для величинъ R отъ 0,20 до 0,48 саж.,
 Скорость V въ $\frac{\text{саж.}}{\text{въ сек.}}$
 Подводный радиусъ R



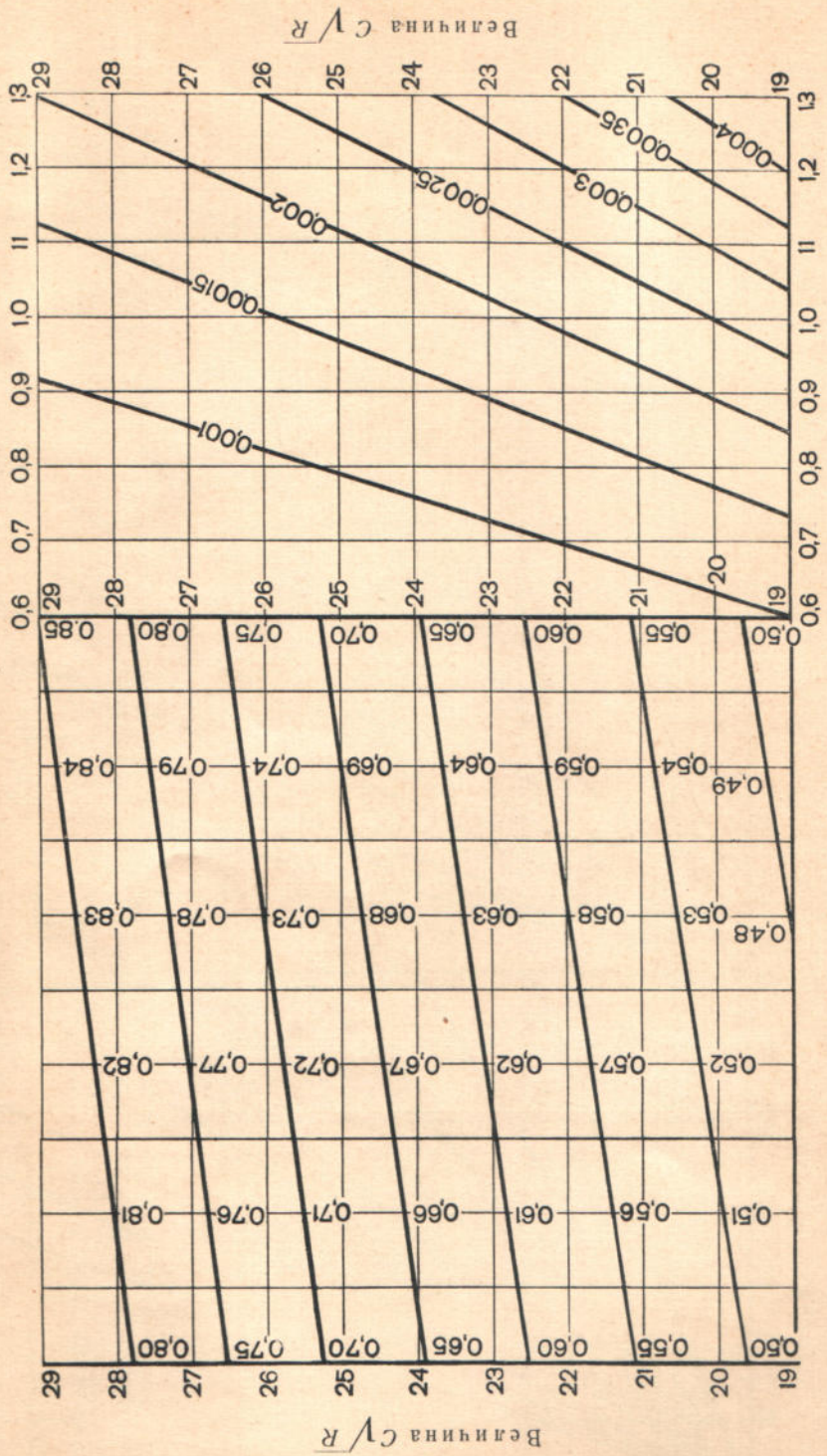
Скорость V въ $\frac{\text{саж.}}{\text{въ сек.}}$

Подводный радиусъ R

Вдоль наклонныхъ линий въ лѣвой части показаны величины подводнаго радиуса R въ сажняхъ, отъ 0,20 до 0,48; промежуточные величины определяются интерполированиемъ. На лучахъ въ правой части показаны величины i уклона потока.

Примръ—см. графикъ № 3.

Скорость подхода $V = C\sqrt{Rl}$,
 в саженях в секунду, в зависимости от подводного радиуса R и уклона потока i , для величин R от 0,48 до 0,85 саж.
 Скорость V в $\frac{\text{саж.}}{\text{в. сек.}}$



Подводный радиус R
 Скорость V в $\frac{\text{саж.}}{\text{в. сек.}}$
 Вдоль наклонных линий в левой части показаны величины подводного радиуса R в саженях, от 0,48 до 0,85; промежуточные величины определяются интерполированием. На лучах в правой части показаны величины i уклона потока.
 Примечание—см. график № 3.

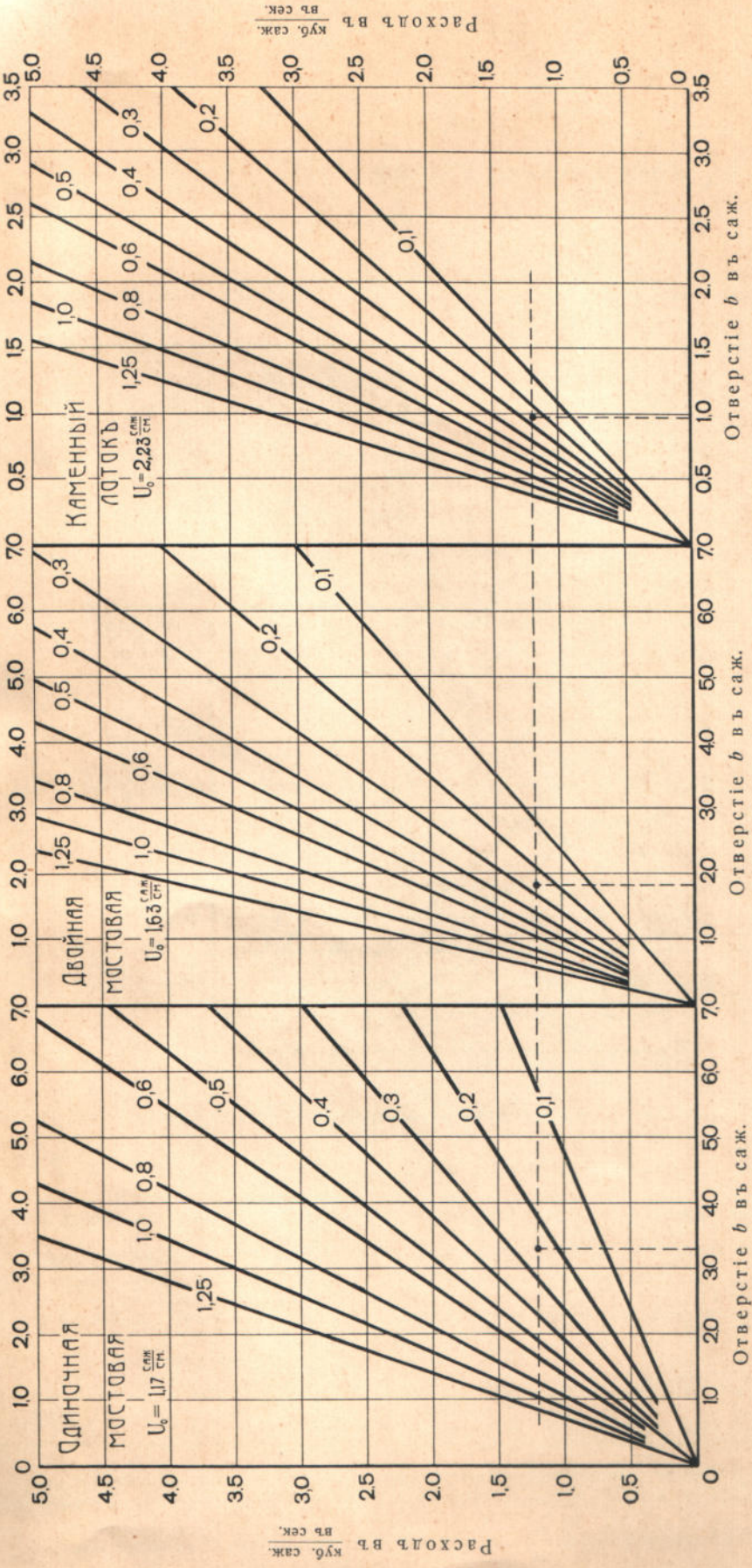
Величина отверстия b

въ сажняхъ, въ зависимости отъ расхода Q , глубины потока a и типа укрѣпленія русла.

Отверстіе b въ саж.

Отверстіе b въ саж.

Отверстіе b въ саж.



На лучахъ во всѣхъ трехъ частяхъ написаны глубины потока a , въ сажняхъ.

Примѣръ. Для расхода $Q = 1,20$ куб. саж. въ сек. и глубины потока $a = 0,25$ саж., находимъ, какъ показано пунктиромъ,

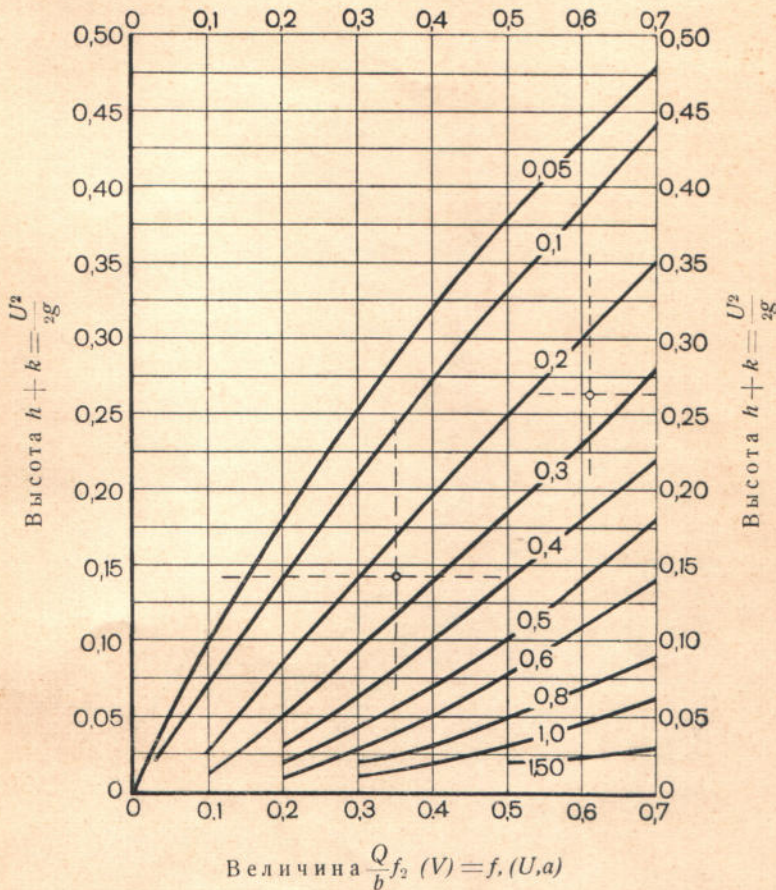
- при одиночной мостовой — отверстие $b = 3,3$ саж.
- " двойной " $b = 1,8$ саж.
- " каменномъ лоткѣ " $b = 1,0$ саж.

$$\text{Опредѣленіе подпора } h = \frac{U^2}{2g} - \frac{V^2}{2g}$$

по величинѣ $h + k = \frac{V^2}{2g}$, глубинѣ потока a и величинѣ f , $f(U, a) = \frac{Q}{b} + f_2(V)$

для значеній $\frac{Q}{b}$ отъ 0,1 до 0,7

$$\text{Величина } \frac{Q}{b} + f_2(V) = f(U, a)$$



На лучахъ написаны глубины потока a въ саженьяхъ. Зная $h + k$, и скорость подхода V , можно съ помощью таблицы № 3 взять величину k и опредѣлить болѣе точно подпоръ $h = \frac{U^2 - V^2}{2g}$

Примѣръ. Пусть $Q = 0,70 \frac{\text{куб. саж.}}{\text{въ сек.}}$, принятое отверстие $b = 2,00$ саж., скорость подхода $v = 0,30 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$, соответственно чему $f_2(V) = 0$, $k = \frac{V^2}{2g} = 0,01$

$$\text{Тогда } f(U, a) = \frac{Q}{b} + f_2(V) = \frac{0,70}{2} + 0,0 = 0,35$$

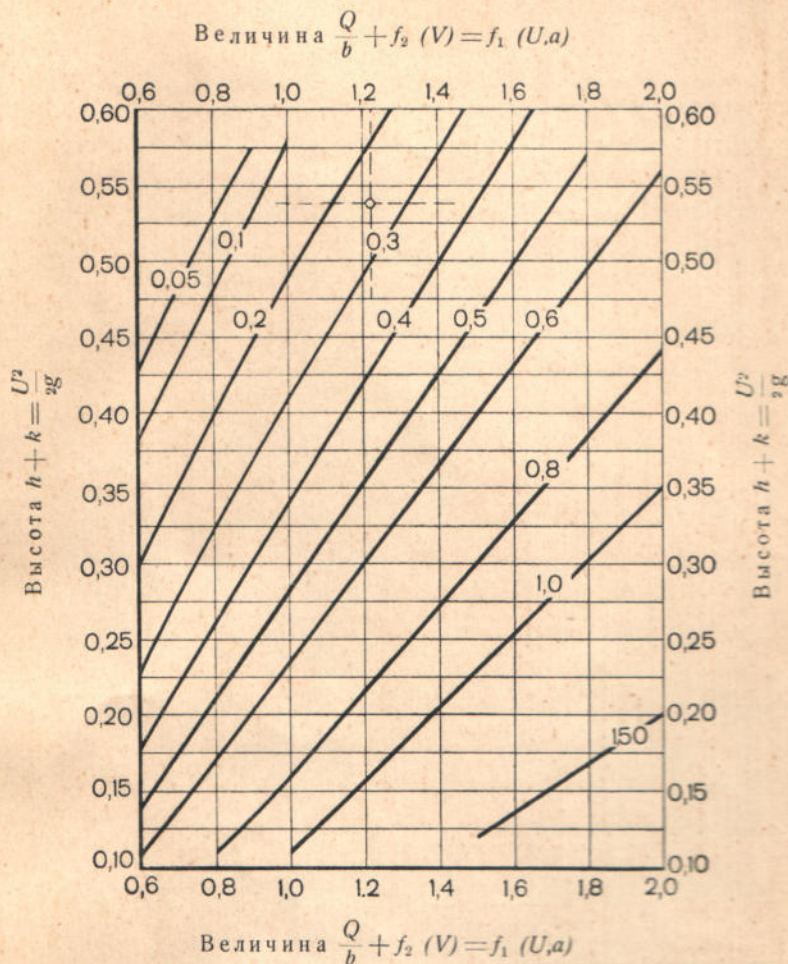
При глубинѣ потока $a = 0,25$ саж., какъ показано пунктиромъ, находимъ $h + k = 0,14$ саж., откуда $h = 0,14 - k = 0,13$ саж.

Скорость прохода U (по таблицѣ № 3) для $h + k = \frac{U^2}{2g} = 0,14$ равняется $U = 1,15 \frac{\text{саж.}}{\text{въ сек.}}$

$$\text{Опредѣленіе подпора } h = \frac{U^2}{2g} - \frac{V^2}{2g}$$

по величинѣ $h + k = \frac{U^2}{2g}$, глубинѣ потока a и величинѣ $f_1(U, a) = \frac{Q}{b} + f_2(V)$

для значеній $\frac{Q}{b}$ отъ 0,6 до 2,0.



На лучахъ написаны глубины потока a въ саженьяхъ. Зная $h + k$ и скорость подхода v , можно, съ помощью таблицы № 3, взять величину k , и опредѣлить болѣе точно подпоръ $h = \frac{U^2 - V^2}{2g}$.

Примѣръ. Пусть $Q = 3,6 \frac{\text{куб. саж.}}{\text{сек.}}$, принятое отверстіе $b = 3,0$ саж. скорость подхода $V = 0,75 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$

соотвѣтственно чему $f_2(V) = 0,02$ и $k = \frac{V^2}{2g} = 0,06$

$$\text{Тогда } f_1(U, a) = \frac{Q}{b} + f_2(V) = \frac{3,6}{3} + 0,02 = 1,22.$$

При глубинѣ потока $a = 0,25$ саж. находимъ, какъ показано пунктиромъ, $h + k = 0,54$ саж., откуда $h = 0,54 - k = 0,48$ саж. Скорость U прохода черезъ сооруженіе (по таблицѣ № 3) для $h + k = 0,54$ саж. равняется $U = 2,23$ саж.

Цѣна 2 р. 50 к.

[Handwritten signature]

ВЫПИСЫВАТЬ МОЖНО ОТЪ АВТОРА:
Петроградъ, Басковъ пер., д. № 6, кв. 8