

П 10.
10.

НКТП · СССР
ГЛАВГИДРОЭНЕРГОСТРОЙ

ИЗВЕСТИЯ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО

ИНСТИТУТА

ГИДРОТЕХНИКИ

17

ЛЕНИНГРАД
1 9 3 5

Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

НКТП СССР — „ГЛАВГИДРОЭНЕРГОСТРОЙ“

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОЭНЕРГОСТРОИТЕЛЬСТВА

Т 10

10

ИЗВЕСТИЯ

Научно-Исследовательского Института
Гидротехники

ТОМ XVII

НКТП СССР



СОБЪЕДИНЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
ЛЕНИНГРАД 1935 МОСКВА

TRANSACTIONS
of the Scientific Research Institute
of Hydrotechnics

VOLUME XVII

1935
LENINGRAD

СОДЕРЖАНИЕ ВЫШЕДШИХ ИЗ ПЕЧАТИ ТОМОВ ИЗВЕСТИЙ Н.-И. ИНСТИТУТА ГИДРОТЕХНИКИ.

1. Том XII. — 1934 г.

1. Проф. И. В. Егiazаров. — Суточное регулирование Волховской гидроэлектрической станции. 2. Проф. И. И. Бюргерс и проф. М. А. Великанов. — Исследование связи между пульсацией в двух точках потока. 3. Инж. А. П. Зегжда. — Падение зерен песка и гравия в стоячей воде. 4. Инж. В. И. Аравин. — Неравномерное движение в водотоках с геометрически подобными сечениями. 5. Инж. Н. М. Вятских. — Опытная проверка предположений расчета высоких ряжей, как силосов. 6. Инж. С. Г. Гутман. — К расчету плотин криволинейного профиля по методу Мора. 7. Инж. А. Ф. Бурков. — Некоторые результаты экспедиционного обследования режима наносов ирригационного узла Мало-Кабардинской оросительной системы на р. Тереке. 8. Б. В. Архангельский и П. Ф. Мартынов. — Методы определения механического состава взвешенных наносов. 9. Инж. Х. М. Полин. — К вопросу о расчете многолетнего регулирования речного стока. 10. Отдел кратких статей и заметок: а) Проф. И. О. Москвитин. — Оценка измерений твердого стока на р. Чирчике по аналогии с данными для р. Инна (Тироль), б) Инж. Г. К. Саатчан. — Обобщенная формула для определения пористости грунтов, в) Инж. А. М. Естифеев. — Опыт построения практической классификации и терминологии главнейших ледовых образований. 11. Журнал заседания Ученого Совета Института № 1 от 30 июня 1933 г. — Цена 8 руб.

2. Том XIII. — 1934 г.

1. Проф. М. А. Великанов. — Принцип подобия и турбулентность. 2. Проф. Г. Н. Маслов. — Температурные напряжения и деформации бетонных массивов на основах теории упругости. 3. Доц. М. Д. Чертоусов. — О сопряжении бьефов и о расчете водобойных колодцев. 4. Инж. П. М. Бобин. — О расчете высотных размеров водобойных сооружений. 5. Инж. П. Д. Евдокимов. — Конструкции и расчет диафрагм в теле земляных плотин. 6. Инж. А. Ф. Бурков. — Режим наносов в условиях Дзоргэса. 7. Инж. А. М. Естифеев. — Эксплуатационные затруднения на Волховской ГЭС в зимний период. Ч. III. — Цена 10 руб.

3. Том XIV. — 1934 г.

1. Памяти С. М. Кирова. 2. Проф. Н. Н. Давиденков. — Опыт измерения коэффициента распора лессового грунта. 3. Инж. В. Я. Черноградский. — Лабораторные и полевые исследования грунтов для земляных плотин. 4. Проф. А. В. Добровольский. — О теориях процесса замерзания вод, в частности образования донного льда и шуги. 5. Проф. В. Е. Тимонов. — Гидротехнические лаборатории открытых типов и их значение при исследовании летнего и зимнего режима вод. 6. Инж. Т. Н. Пузыревская и проф. В. Е. Тимонов. — Памяти заслуженного Деятели науки и техники проф. Н. П. Пузыревского. 7. Инж. Р. Н. Давиденков. — Об устойчивости гидротехнических сооружений на проницаемых основаниях. 8. Инж. Л. И. Козлова. — Экспериментальное исследование фильтрационной деформации двух смежных и разнородных слоев грунта. 9. Проф. А. Витольс. — Движение плота в сплаве в канале. — Цена 10 руб.

4. Том XV. — 1935 г.

1. Инж. Б. Ф. Рельтов. — Исследование фильтрации в условиях пространственной задачи по методу электрогидродинамических аналогий акад. Н. Н. Павловского. 2. Проф. М. А. Великанов. — Гидромеханический анализ поверхностного стока.

CONTENTS.

1. Prof. I. V. Egiazarov. — Unsteady Wave Motion, in Long Pools.	11
2. S. V. Isbakh, Eng. — Construction of Dams and Other Structures by Dumping Stones into Flowing Water — Design and Practice	66
3. Prof. M. D. Chertoussov. — Some Considerations Regarding the Length of Hydraulic Jump.	76
4. Prof. V. N. Goncharov. — Flow Round a Cube Fixed to Bottom of Flume	112
5. V. A. Gavrilenko, Eng. — Transportation of Bedload	127
6. U. F. Prokofieva and V. I. Novotorzev, Engs. — Theoretical Principles of Designing Transit Stream Flows	145
7. I. I. Weiz, Eng. — Some Considerations Upon Steady Slowly Varied Flow of Liquids in Regularly Shaped Non-Prismatic Channels.	158
8. P. I. Glujgue, Eng. — Investigations of Concrete in Structures	181
9. V. V. Kind, Eng. — Action of Thin Solutions of Sulphates (Similar to Natural Waters Containing Sulphates) upon Various Types of Cements	197
10. S. G. Gutman, Eng. — On Kinematics of Two-Dimensional Potential Flow	203
11. Prof. V. E. Timonoff — International Navigation Congress which Took Place in Brussels in 1935.	216
12. Short Notes:	
a) Prof. M. D. Chertoussov. — Determination of Water Cushion's Depths	218
b) G. K. Lotter, Eng. — Considerations Regarding the Overcooling of Water in Connection with Turbulent Flow in Open Channels	221
c) T. N. Pouzirevskaya, Eng. — New Design of Lifts Proposed by Prof. N. P. Pouzirevsky for Volga-Baltic Sea Canal Project	225
d) I. D. Zaporogets, Eng. — Determination of Chemical Activity of Acid Hydraulic Admixtures by Accelerated Method	233

СОСТАВ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

THE COMMITTEE ON PUBLICATION

Проф. В. С. Баумгарт.

Акад. Б. Г. Галеркин.

Проф. И. В. Егiazаров.

Проф. Г. Н. Маслов.

Проф. А. А. Морозов.

Акад. Н. Н. Павловский.

Инж. П. Н. Проворов.

Проф. В. М. Родевич.

Проф. А. А. Саткевич.

Проф. В. Е. Тимонов.

Prof. V. S. Baumgart.

M.A.S. B. G. Galerkin.

Prof. I. V. Eguiazarov.

Prof. G. N. Maslov.

Prof. A. A. Morozov.

M.A.S. N. N. Pavlowsky.

Eng. P. N. Provorov.

Prof. V. M. Rodevitch.

Prof. A. A. Satkievitch.

Prof. V. E. Timonoff.

Доц. С. В. Избаш.

ГИДРАВЛИКА НАБРОСКИ

(РАСЧЕТ И СТРОИТЕЛЬНЫЙ ОПЫТ ПО НАБРОСКЕ КАМНЯ В ТЕКУЩУЮ ВОДУ).

Преграждение потока наброской в текущую воду — во многих случаях простое, быстрое и экономное инженерное решение, если есть уверенность в том, что разнос отсыпи не будет, слишком велик. Эту уверенность, на ряду с инженерными мероприятиями по уменьшению части расхода, переливающегося через наброску, — должен дать, основанный на научно-технической базе, расчет, выверенный сопоставлениями с данными строительного опыта.

Предшествующие мои исследования, первый в нашей стране крупный строительный опыт, его анализ и новые исследования, — позволили автору сделать попытку оформить, в первом центре, гидравлику наброски, как особый раздел проблемы, названной академиком Н. Н. Павловским гидравликой производства работ.

Строители нашей страны идут на все более крупное и ответственное применение наброски, как метода преграждения потоков, совершенствуя этот метод и внося в него свою драгоценную творческую инициативу.

Гидравлика наброски — посильная попытка помочь этим передовым отрядам гидротехников на данном этапе их трудного, но благодарного пути.

§ 1. **Некоторые справки.** По запросу производства,¹ в основанной академиком Н. Н. Павловским Гидротехнической Лаборатории, автором были поставлены первые, в СССР, опыты по наброске камня в текущую воду для конкретного объекта — плотины на р. Колве. Тематическая работа Научно-Исследовательского Института Гидротехники углубила и расширила начатое исследование, позволив, в первом центре, выяснить гидравлическую сущность явлений и наметить основы метода расчета наброски. Полученные результаты были сообщены широкому кругу строителей.²

Наброска в текущую воду не как случайный строительный прием, а как научно-обоснованный метод преграждения потоков начала внедряться в нашу строительную практику. За первыми набросными плотинами 1932 и 1933 гг., на Беломорско-Балтийском канале,³ последовало закрытие наброской прорванного потоком участка ряжевой перемычки установки Нива 2-я (начало 1933 г.) и сооружение в середине 1933 г. огромной набросной перемычки 2-ой очереди Свирьстроя, где, кроме камня, строители набрасывали в поток бетонные массивы весом свыше двухсот пудов каждый (см. фотоснимки, фиг. 1 и 2).

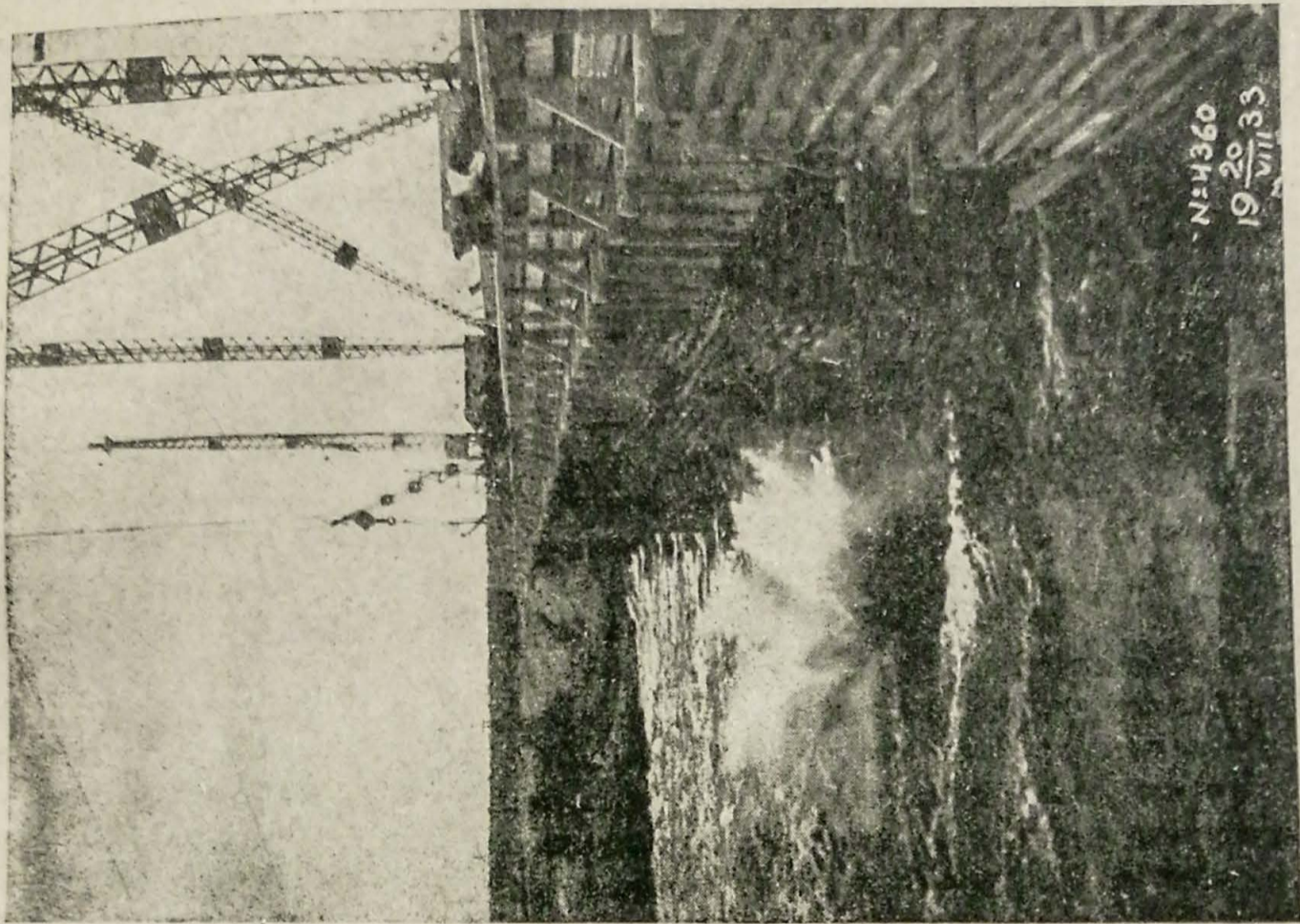
¹ Управления исследования и проектирования Камско-Печерского водного пути.

² Доклады автора в 1930 г. в Ленинградском Политехническом Институте, Ленинградском Бюро Беломорско-Балтийского канала, на Первом Всесоюзном Съезде Гидравликов и Гидротехников в Москве (1931 г.); статья в журнале „Гидротехническое Строительство“, № 9 за 1931 г.; участие в составлении эскизного проекта плотины Верхне-Свирского сооружения (1931 г.); консультация Ленинградского отделения Гидроэлектростроя и составление эскиза варианта плотины установки Нива 1-ая (январь 1932 г.); книга „Постройка плотин наброской камня в текущую воду“, Стройиздат, июль 1932 г.

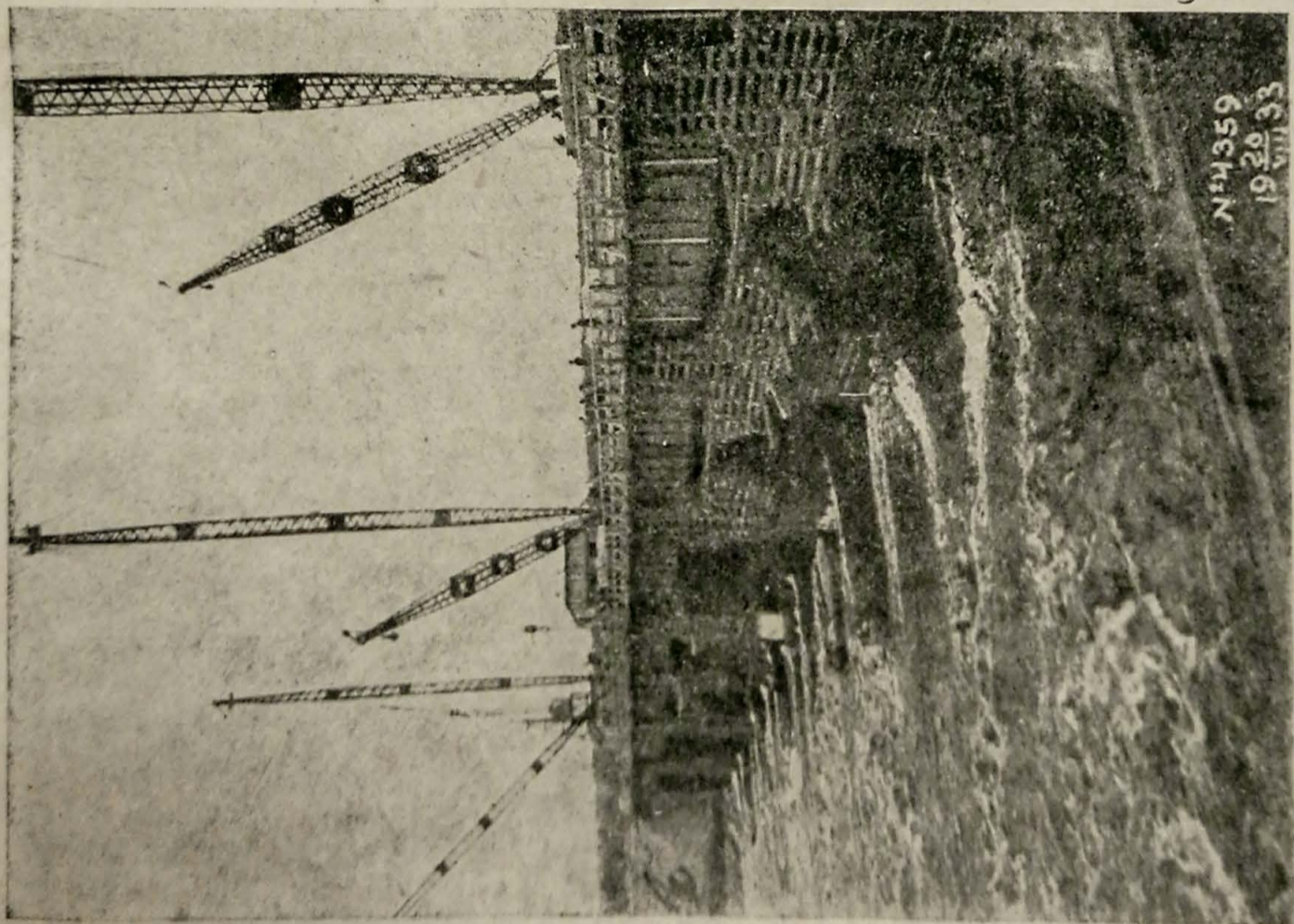
³ Инж. В. Доманский, Набросная плотина смешанного типа в Пала-Корге, журн. „Гидротехническое Строительство“, № 9, 1934 г.

Инж. О. В. Вяземский, Плотина Магкожненского узла сооружений Беломорско-Балтийского канала им. Сталина, журн. „Гидротехн. Строит.“, № 2, 1935 г.

Научно-Исследовательский Институт Гидротехники, получая задания производства, не только ставил в этот период в своей Гидротехнической Лаборатории соответствующие опыты. ¹ Придавая огромное значение указаниям строительного опыта, Институт предоставил автору возможность организовать на последних двух из упомя-



Фиг. 2. Момент удара сброшенного массива о водную поверхность.



Фиг. 1. Наброска массивов весом 3,6 т на Свирьстрое. Массив, сброшенный дериком, падает.

¹ Весьма подробные лабораторные опыты были выполнены под руководством автора по вопросу установки ряжей временного моста и производству работ по наброске для набросной перемычки Свирьстроя. Здесь удалось предугадать ряд затруднений, удачно затем преодоленных строителями, смогшими заблаговременно принять ряд надлежащих мероприятий.

нутых выше строительствах систематическое научно-техническое наблюдение за ходом производства работ, удавшееся благодаря той атмосфере всемерного содействия этой работе, которая, особенно на Свирьстрое, была создана руководством строительства.¹ На Беломорско-Балтийском канале, в порядке договорной работы, производились наблюдения в течение первого года его эксплуатации.

Первые, в СССР, строительные опыты крупного масштаба по наброске камня в текущую воду удались.

По набросным плотинам Беломорско-Балтийского канала отчет Института констатировал, что „плотина, выведенная наброской в текущую воду, работает вполне исправно; таким образом, такой способ возведения плотин смешанного типа себя оправдал“.

Набросная перемычка Свирьстроя с честью выдержала ответственное испытание не только оградить работы, но и поддерживать напор досрочно пущенной гидростанции; по миновании в ней надобности перемычку пришлось разбирать помощью сильных взрывов.

Начальник и Гл. Инженер Свирьстроя академик Г. О. Графтио, в связи с этим, следующим образом характеризует метод наброски камня и массивов в текущую воду: „Этот новый способ, теоретически весьма подробно изученный инженером Избашем и впервые чрезвычайно удачно примененный Белморстроем, был с большим успехом применен, с надлежащими дополнениями, Свирьстроем при сооружении верховой перемычки второй очереди для правой части плотины.“²

Драгоценные данные строительного опыта Нивастроя и Свирьстроя были проанализированы автором и послужили для уточнения расчетных схем и входящих в расчеты опытных коэффициентов и учета многих обстоятельств, указанных практикой.

Окрепший от сопоставления с первыми данными практического опыта, метод расчета и данные научно-исследовательского анализа были немедленно предоставлены в распоряжение строителей, идущих на все более крупное и ответственное применение метода наброски в текущую воду.

Так, автором была составлена подробная записка с изложением данных строительного опыта Нивастроя и Свирьстроя, уточненной схемы расчета и сопоставлением данных расчета с таковыми лабораторных опытов и предоставлена Управлению по проектированию Свирских Гидростанций³ в связи с составлением последним проекта для сооружения наброской камня в текущую воду плотины Верхне-Свирской установки. Эта же записка была передана и некоторым другим строительным организациям.⁴

Наконец, по проекту гидротехнической реконструкции Самарской Луки⁵, один из основных вариантов которого предусматривал сооружение на р. Волге плотины наброской камня в текущую воду — автор вместе с группой других ленинградских специалистов был привлечен к даче своих замечаний.

Так, за последние годы осуществлялся взаимный обмен опытом по наброске — строителей, проектировщиков и инженеров исследователей.

¹ Считаю приятным долгом выразить свою глубокую, за это, признательность Начальнику и Главному Инженеру Свирьстроя акад. Г. О. Графтио, его Помощнику и Главному Инженеру по Технической Части П. А. Валугеву, Начальнику Строительства Н. А. Филимонову, Заместителю последнего А. В. Бакулину и всем тем работникам Свирьстроя, которые неизменно и действительно шли навстречу всем научно-исследовательским начинаниям автора на Строительстве.

До передачи настоящей работы в „Известия НИИГ“, по предложению работников Свирьстроя, мною была составлена и в марте 1935 года передана в редакцию „Свирстроя“ (Материалы по сооружению Свирских гидро-электрических силовых установок) статья „Основы гидравлического расчета наброски и данные строительного опыта по сооружению перемычки II-ой очереди Свирьстроя“. Все последующие данные, касающиеся Свирьстроя — заимствованы автором из указанной его статьи.

² Акад. Г. О. Графтио, „Свирьстрой“, Материалы по сооружению Свирских гидро-электрических силовых установок, Издание Управления Свирьстроя, Ленинград, 1934 г.

³ Передано Нач. Отдела плотин в январе 1935 г.

⁴ Передана в 4-х экз. Ленингр. Бюро Беломорско-Балтийского Комбината в июле 1934 г.

⁵ А. В. Чаплыгин, Гидротехническая реконструкция Самарской Луки, Труды ноябрьской Сессии Академии Наук СССР, посвященной проблеме Волго-Каспия, 1933 г.

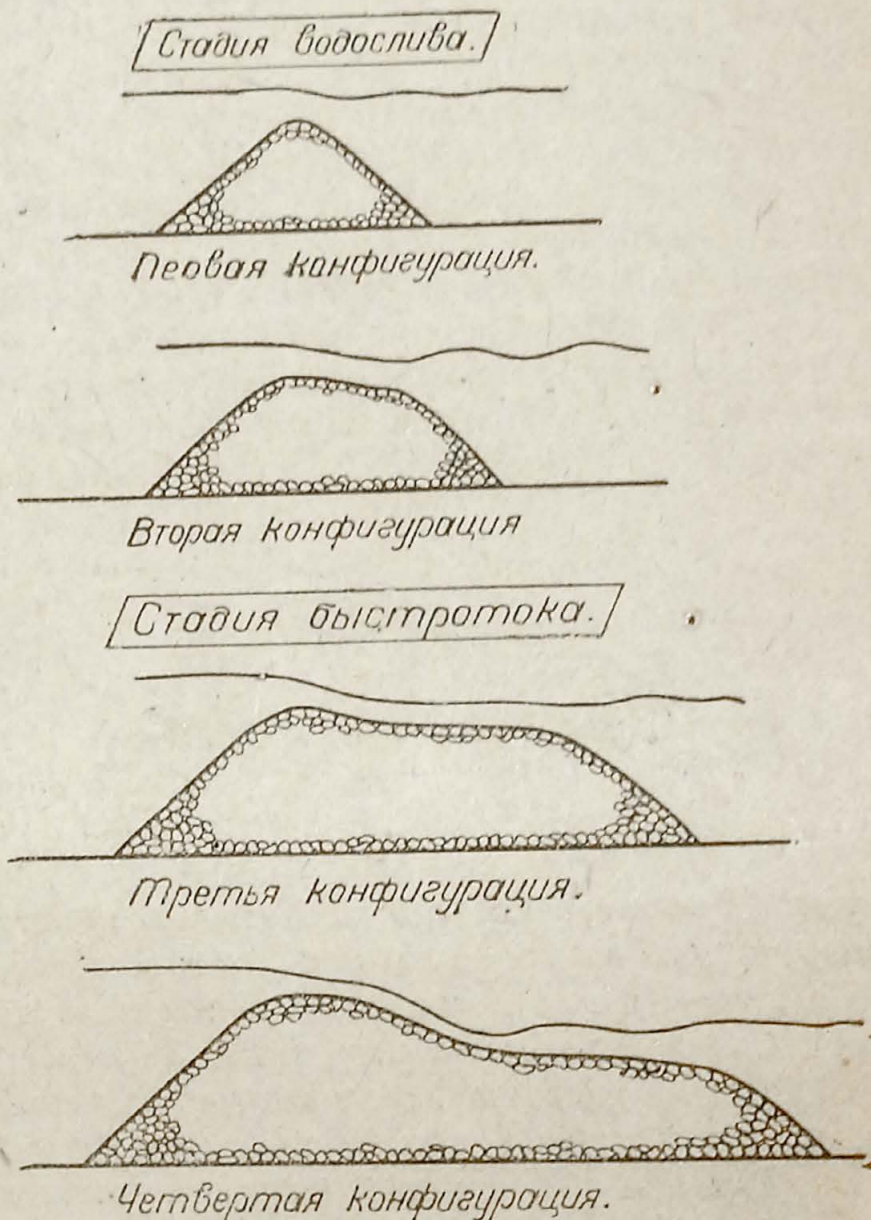
Результаты, достигнутые в нашей стране в деле разработки метода сооружения плотин наброской камня в текущую воду уже признаются за границей, стимулируют и там дальнейшую разработку вопроса.

Так, например, познакомившись с моей книгой, американец Кортланд Итон (Courtlandt Eaton, Los Angeles, Colifornia)¹ пишет мне „Я чувствую, что набросные плотины будут играть очень большую роль в будущем, особенно в поясах, подверженных землетрясениям. Вы сделали очень важный шаг в научном анализе, которого данный вопрос требует и заслуживает. Я подготавливаю книгу по вопросу о набросных плотинах“...

В повестку Второго Международного Конгресса по большим плотинам по предложению акад. Н. Н. Павловского включен вопрос о „постройке плотин наброской камня в текущую воду.“

Излагаемое ниже есть подведение некоторых итогов пройденного, в СССР, этапа в развитии метода преграждения потоков наброской камня в текущую воду.

Мы начинаем с изложения основных явлений, на которые можно расчленить сложный комплекс явлений, возникающих при наброске. Далее, оставляя неизменными те основы, исходя из которых в книге „Постройка плотин наброской камня в текущую воду“ (1932 г.) был намечен метод расчета наброски — мы, чего не было сделано в указанной книге, развиваем и детализуем расчетные схемы, равно как и подробно останавливаемся на условиях их применимости. Затем приводятся некоторые данные строительного опыта Нивастрою и Свирьстрою (период 1932—1933 гг.), проанализированные автором. Наконец, производится сопоставление данных расчета, и строительного опыта по Нивастрою и Свирьстрою.



Фиг. 3. Последовательные конфигурации наброски камня в текущую воду.

1. Основные явления, имеющие место при наброске камня в текущую воду

§ 2. Последовательность и классификация явлений. По данным строительной практики и лабораторных опытов если производить наброску камня в текущую воду потока, находящегося в бытовых условиях в спокойном ($h\delta > h^c$) состоянии, имеет место следующая последовательность явлений.²

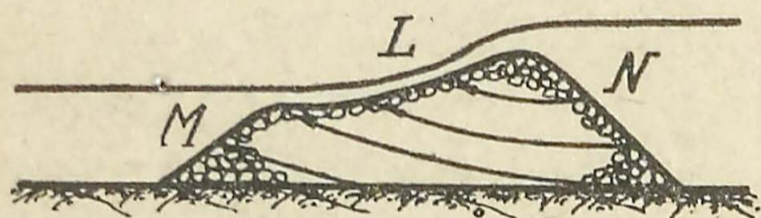
Вначале, если бытовая скорость потока меньше сдвигающей камень по дну, отсыпь характеризуется очертанием, близким к треугольному равнобедренному с уклоном откосов $\sim 1:1,25$; это первая конфигурация отсыпи. Наброска растет по высоте, сохраняя это очертание до некоторого предела. С приближением к этому пределу перепад становится заметнее и ровная до того свободная поверхность приобретает слегка волнистое очертание (фиг. 3) (первая конфигурация). Затем повышение отсыпи, шедшее до сих пор весьма интенсивно, резко замедляется; наблюдается сдвиг

¹ Главный Инженер строительства San Gabriel Dam №1 — одной из крупнейших в мире сооружаемой в настоящее время набросной плотины.

² Для тех потоков, бытовая глубина которых меньше или приближается к критической (бурное состояние) — гидравлическое содержание явлений, связанных с преграждением потока наброской, резко отлично от описанного ниже.

и снос отдельных камней с вершины отсыпи. При замедленном повышении отсыпи ее низовой откос начинает приобретать большую пологость по сравнению с верхним, каковой до самого конца сооружения сохраняет прежний, около 1:1,25, уклон. Перепад увеличивается; свободная поверхность принимает характер резко очерченных волн. Контур отсыпи, который до этого можно было оценить как треугольный, переходит под воздействием потока при дальнейшей наброске в близкий к трапециoidalному; это вторая характерная конфигурация отсыпи (см. фиг. 3). Здесь уже чаще и интенсивнее нарушение равновесия отдельных камней, составляющих отсыпь. Поток воздействует в первую очередь на вновь насыпаемые порции камня. Они не падают в воде почти вертикально, как наблюдалось ранее при образовании треугольного профиля, а под влиянием возросшей скорости потока заметно отклоняются от вертикали в сторону нижнего бьефа, во время своего падения в воде. Упав на откос, некоторые из камней не остаются на месте, а подвергаясь воздействию потока, перекачиваются по откосу, пока не достигнут устойчивого положения на пологой его части или не скатятся к основанию отсыпи. Такой характер перемещения отдельных камней („перекатывание“) остается во все время продолжения наброски.

До сего времени, при первой и второй конфигурациях наброски общее гидравлическое содержание явлений могло быть охарактеризовано, как стадия водослива. При дальнейшем медленном повышении и интенсивном распространении наброски в ширину (фиг. 3, третья конфигурация) — отсыпь переходит в основном в стадию быстрого тока; в этой стадии лишь вблизи оголовка сохраняется водосливной участок.



Фиг. 4.

Если по той или иной причине¹ имеет место значительное уменьшение части расхода, переливающегося через верх каменной отсыпи, распространение отсыпи в ширину, в сторону нижнего бьефа постепенно прекращается. Отсыпь

начинает интенсивно расти по высоте, причем гребень наброски начинает отсыпаться более круто и низовой откос приобретает точки перегиба.

Это — четвертая, заключительная конфигурация отсыпи, сооружаемой наброской камня в текущую воду (фиг. 3).

Далее, толщина переливающегося через каменную отсыпь слоя становится малой и, наконец, гребень отсыпи показывается из воды.

Так при непрерывной наброске камня конфигурации отсыпи отражают в каждый данный момент равновесие между силами потока и весом камня. Мы имеем здесь редкий в инженерном деле пример динамически развивающегося сооружения, каждый контур которого, похожий на кадр кинофильма, формируется в процессе сооружения самой рекой.

Прежде чем приступить к гидравлическому расчету размеров отсыпей, выясним те основные явления, из которых складывается и которыми сопровождается процесс формирования отсыпи в текущей воде.

Самый факт существования отсыпи (фиг. 4) указывает на равновесие между силой гидродинамического воздействия потока на камень и теми силами, которые удерживают камень на откосе. Таким образом, первым и основным вопросом является вопрос:

1. Об устойчивости камня на откосе под гидродинамическим воздействием потока.

Следующий вопрос, тесно связанный с предыдущим, — это вопрос:

2. О переливе потока через отсыпь при различных конфигурациях последней.

По своему существу этот вопрос должен быть расчленен на два вопроса:

а) о гидравлическом явлении водослива через отсыпь в стадии водослива и на водосливном участке $L-N$ последующей стадии;

¹ Вступление в работу бокового водосброса, пропуск части расхода сквозь тело плотины трубами или путем фильтрации (последняя приобретает значение лишь при весьма малых расходах).

б) о движении воды на быстротоке $L-M$ низовом откосе отсыпи и связанных с этим движением потерях энергии.

Помимо пропуска воды над собой (поверху), каменная отсыпь пропускает часть потока сквозь „ходы“ внутри ее тела. Следовательно мы должны рассмотреть вопрос:

3. О фильтрационном потоке в теле каменной отсыпи.

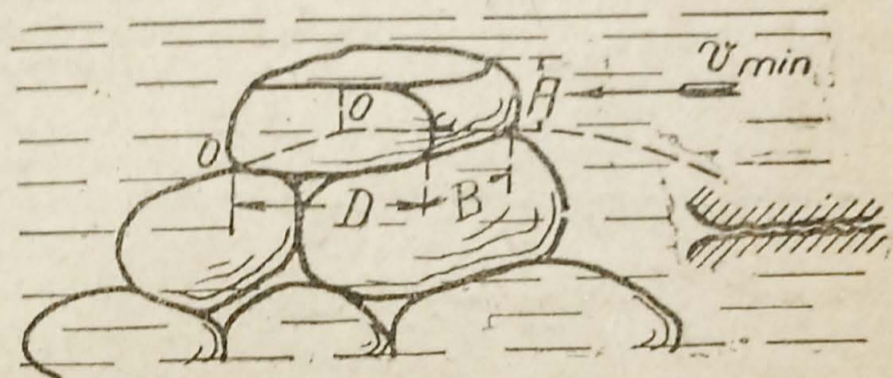
Раз возникнув в теле отсыпи, фильтрационный поток возьмет на себя часть расхода, переливающегося поверху, и окажет тем самым влияние на явление водослива.

Выходя в различных точках низового откоса ML , фильтрационный поток увеличивает массу воды, двигающуюся по быстротоку. Создав при выходе на низовой откос некоторое „выпирающее“ давление, фильтрационный поток будет влиять и на устойчивость камня, расположенного на откосе.

Таким образом в природе все указанные явления тесно переплетаются и взаимодействуют. Намеченная здесь классификация есть необходимая предпосылка для анализа весьма сложной по своему существу гидравлической стороны явлений, связанных с наброской камня в текущую воду.

Мы считаем необходимым подчеркнуть здесь, что наше рассмотрение является рассмотрением гидравлической стороны явлений. Вопросы сопротивления материала камня, напряжений в отсыпях и осадок последних под влиянием сил веса вышележащих слоев или некоторой нагрузки в настоящем изложении не рассматриваются.

§ 3. Об устойчивости камня в наброске под гидродинамическим воздействием потока. Рассмотрим две основные схемы сопротивления камня воздействию потока.



Фиг. 5.

Первая из них, изображенная на фиг. 5, отвечает первой конфигурации наброски (см. фиг. 3), когда камень, характеризуемый размерами A , B и D и подвергаясь воздействию скорости v_{min}^1 , лежит на вершине отсыпи.

В момент предельного равновесия, определяя гидродинамическое воздействие потока на камень по закону Эри ($W. Airy$), можно написать уравнение равновесия: для случая сдвига, при коэф. трения f .

$$k_1 \cdot A \cdot B \Delta \frac{v_{min}^2}{2g} = f \cdot A \cdot B \cdot D (\Delta_1 - \Delta),$$

откуда

$$v_{min} = \sqrt{\frac{f}{k_1}} \cdot \sqrt{2g \frac{\Delta_1 - \Delta}{\Delta}} \cdot \sqrt{D} \quad (1)$$

или

$$v_{min} = Y_c \cdot \Pi \cdot \sqrt{D}; \quad (2)$$

для случая опрокидывания вокруг ребра $0-0$

$$k_1 \cdot A \cdot B \cdot \Delta \frac{v_{min}^2}{2g} \cdot \frac{A}{2} = A \cdot B \cdot D (\Delta_1 - \Delta) \cdot \frac{D}{2},$$

откуда

$$v_{min} = \sqrt{\frac{1}{k_1}} \cdot \sqrt{2g \frac{\Delta_1 - \Delta}{\Delta}} \cdot \frac{D}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

или

$$v_{min} = Y_o \cdot \Pi \cdot \frac{D}{\sqrt{A}} \quad (4)$$

¹ Индекс min . — min указывает, что эта скорость является наименьшей скоростью, способной вывести из равновесия камень, лежащий на отсыпи.

В написанных формулах

k_1 — коэффициент обтекания, учитывающий форму камня;

Δ и Δ_1 — веса единиц объема воды и камня;

f — коэффициент трения камня о камень в воде;

$\Pi = \sqrt{2g \frac{\Delta_1 - \Delta}{\Delta}}$ — коэффициент, характеризующий свойства жидкости и камня;

$Y_c = \sqrt{\frac{f}{k_1}}$ — коэффициент устойчивости камня на сдвиг;

$Y_o = \sqrt{\frac{1}{k_1}}$ — коэффициент устойчивости на опрокидывание.

Из формул (1) и (3) найдем

$$v_{\text{min}} = v'_{\text{min}} \cdot \sqrt{f} \cdot \sqrt{\frac{A}{D}}. \quad (5)$$

Так как всегда $f < 1$, то при $A < D$, что обычно и бывает у камня в наброске, очевидно, что

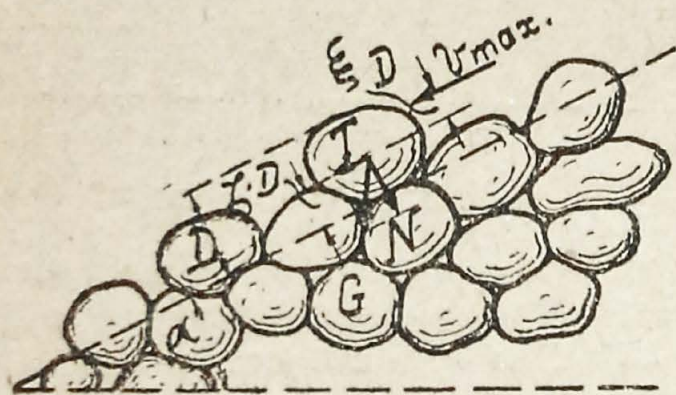
$$v_{\text{min}} < v'_{\text{min}}.$$

Иначе говоря, камень, лежащий на вершине отсыпи, потоку всегда легче сдвинуть чем опрокинуть. Поэтому при первой конфигурации отсыпи расчет устойчивости камня надлежит вести по формуле (2).

Коэффициент устойчивости Y_c , входящий в эту формулу, был определен автором из многих лабораторных опытов, проведенных с учетом и выпирающего воздействия фильтрационного потока; данные лабораторных опытов были частично сопоставлены как с измерениями в натуре, так и с исследованиями других авторов.

Для камней округленной формы, полагая величину D , входящую в формулу (2) за диаметр камня, приведенного к шару, значение коэффициента устойчивости на сдвиг оказалось равным

$$Y_c = 0,86.$$



Фиг. 6.

Нет оснований полагать, что для угловатого камня этот коэффициент может существенно

отличаться от приведенного выше значения; выгода, которую, казалось бы, должен представлять угловатый камень в смысле увеличенного сопротивления сдвигу, повидимому сводится на-нет тем большим сопротивлением, которое этот камень оказывает обтекающему его потоку.

Вторая схема сопротивления камня, изображенная на фиг. 6, отвечает следующим за первой конфигурациям отсыпи. Благодаря сносу дополнительно набрасываемого камня и некоторому распространению отсыпи в длину (см. фиг. 3), лежащие на ее поверхности камни оказываются несколько защищенными рядом лежащими. Камень, брошенный на откос, перемещается до тех пор, пока не найдет себе гнезда и упора. В связи с этим, устойчивость камней определяется уже не сдвигом, как в первой схеме, а выкатыванием из гнезда под воздействием скорости v_{max} .¹

Рассмотрим момент предельного равновесия на опрокидывание (выкатывание) камня размера D вокруг линии, перпендикулярной к плоскости чертежа и проходящей через точку O (фиг. 6).

$$\begin{aligned} k_2 \cdot \Delta \cdot \frac{v_{\text{max}}^2}{2g} \cdot D^2 \cdot \xi \cdot D + (\Delta_1 - \Delta) \cdot D^3 \sin \alpha \left(\frac{D}{2} - \zeta a \right) = \\ = (\Delta_1 - \Delta) \cdot D^3 \cdot \cos \alpha \cdot \frac{D}{2} \end{aligned} \quad (6)$$

¹ Индекс *max* указывает, что v_{max} является максимальной скоростью, которой способен сопротивляться камень, набрасываемый в текущую воду.

$$v_{\max}^2 = \frac{1}{2\xi k_2} \cdot 2g \frac{\Delta_1 - \Delta}{\Delta} \cdot D [\cos \alpha - \sin \alpha (1 - 2\zeta)]$$

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{1}{2\xi \cdot k_2}} \cdot \sqrt{2g \frac{\Delta_1 - \Delta}{\Delta}} \cdot \sqrt{D} \left[\sqrt{\cos \alpha - \sin \alpha (1 - 2\zeta)} \right]$$

Величина ζ , показывающая какой части от D равна высота стенки упора, определяет момент составляющей веса T .

При $\zeta < \frac{1}{2}$ составляющая T будет помогать опрокидыванию;

„ $\zeta = \frac{1}{2}$ „ „ дает момент, равный 0;

„ $\zeta > \frac{1}{2}$ „ „ будет помогать устойчивости.

Обычная укладка камня такова, что $\zeta > \frac{1}{2}$. Однако для осторожности примем среднее значение $\zeta = \frac{1}{2}$.

Обозначим по предыдущему

$$П = \sqrt{2g \frac{\Delta_1 - \Delta}{\Delta}} \text{ — коэффициент, учитывающий свойства жидкости и камня}$$

$$У_s = \sqrt{\frac{1}{2\xi \cdot k_2}} \text{ — коэффициент устойчивости камня на выкатывание.}$$

Тогда предыдущее выражение переписется в форме

$$v_{\max} = У_s \cdot П \cdot \sqrt{D} \cdot \sqrt{\cos \alpha}. \quad (7)$$

Для горизонтальной площадки ($\alpha = 0$, $\cos \alpha = 1$) предыдущее выражение переписется в форме

$$v_{\max} = У_s \cdot П \cdot \sqrt{D}. \quad (8)$$

Выражение (8) является основным, так как при тех сравнительно малых углах наклона, которыми большей частью обладают пологие участки откосов наброски в стадии быстротока, величина $\sqrt{\cos \alpha}$ может быть принята практически совпадающей с единицей.¹

Для камней округленной формы, полагая за величину D , входящую в формулу (8), диаметр камня, приведенного к шару, по данным наших лабораторных опытов, сопоставленных с некоторыми измерениями в натуре и работами других авторов,

$$У_s = 1,20.$$

Приведенные для первой схемы соображения об учете этим значением и некоторого выпирающего воздействия фильтрационного потока, а равно малой вероятности значительного отклонения $У_s$ от этой величины при угловатых камнях, остаются в силе и здесь.

§ 4. О переливе потока через наброску. В стадии водослива мы имеем две характерные конфигурации отсыпи (см. фиг. 3). Из них первая по своему гидравлическому существу оказывается близкой к затопленному водосливу треугольного профиля, если наброска выполняется строго с одного створа; вторая — при достаточно развитой форме отсыпи дает водослив типа широкого порога с закругленным входным ребром.

Однако на практике производство работ по наброске редко может обеспечить формирование отсыпи по треугольному очертанию и отвечающий этому последнему повышенный по сравнению с широким порогом коэффициент расхода. Чаше здесь будет иметь место отсыпь, очерченная по трапеции, верхняя сторона которой определяется расположением створов наброски. Поэтому при расчетных соображениях как первая, так и вторая конфигурации наброски могут рассматриваться, как водослив с широким порогом и скругленным входным ребром, характеризующийся следующими, определенными нашими опытами, средними значениями:

¹ Действительно, например, даже при $\alpha = 30^\circ$, что отвечает уклону низового откоса-быстротока 1:1,75 — $\cos \alpha = 0,87$, а интересующая нас величина $\sqrt{\cos \alpha} = 0,94$.

коэффициента расхода:

$$m = 0,35; \quad M = m \sqrt{2g} = 1,55$$

коэффициента скорости:

$$\varphi = 0,92; \quad k = \frac{2\varphi^2}{1 + 2\varphi^2} = 0,63$$

(9)

Обращаясь к стадии быстротока, рассмотрим прежде всего верховой водосливной участок отсыпи.

Данные лабораторных исследований и некоторые наблюдения в натуре указывают, что и для водосливного участка третьей конфигурации отсыпи, входящей в эту стадию (см. фиг. 3), практически приемлемы средние числовые значения (9), приведенные выше. Лишь при четвертой конфигурации вследствие образования гребня в общем более округленного очертания, чем при предыдущих контурах наброски как лабораторные опыты, так и измерения в натуре указывают на увеличение водопрпускной способности водослива.

Однако, учитывая неизбежность в этот период наброски отдельных нагромождений камня на гребне и связанное с этим уменьшение водопрпускной способности фронта, а также во многих случаях довольно растянутые очертания гребня — это увеличение не может быть слишком большим.

Как среднее значение для водосливного участка четвертой конфигурации, мы в соответствии с данными, приведенными в книге „Постройка“..., полагаем возможным принять

$$m = 0,385.$$

или

$$M = m \sqrt{2g} = 1,72.$$

(10)

Мы подчеркиваем то обстоятельство, что приводимые значения дают лишь некоторую осредненную характеристику водосливам, образованным наброской; вследствие неизбежных случайностей в нагромождениях гребней отсыпей во многих случаях вероятны отклонения от этих средних величин. Это следует иметь в виду при расчетах. В зависимости от конкретных особенностей задачи, например, при опасении преувеличить полученный из расчета подпор, создаваемый наброской, по сравнению с минимальной возможной величиной этого подпора в действительности, осторожнее принимать более высокие, чем приведенные выше, значения коэффициента расхода; в других случаях — более низкие.

Рассмотрим теперь движение воды на быстротоке — низовом откосе отсыпи. При тех значительных сопротивлениях, которые оказывает движению потока весьма шероховатая поверхность наброски, силы, поддерживающие движение жидкости непосредственно за водосливным участком, сравнительно быстро практически уравновешиваются силами сопротивления и потому движение потока на большей части низового откоса отсыпи оказывается близким к равномерному. То, что фильтрационная часть расхода выходит на поверхность на всем протяжении низового откоса отсыпи и тем повышает глубины в концевой части быстротока, является дополнительным обстоятельством, объясняющим наблюдаемое в опытах практическое равенство глубин на протяжении низового откоса и приемлемость в условиях наброски допущения о равномерном движении потока по низовому откосу.

Следующим весьма существенным для характеристики движения потока по откосу является вопрос о потерях энергии при этом движении.

Действительно, при сравнительно развитой стадии быстротока перепад (подпор воды), создаваемый наброской, является, в основном, результатом потери напора по длине наброски.

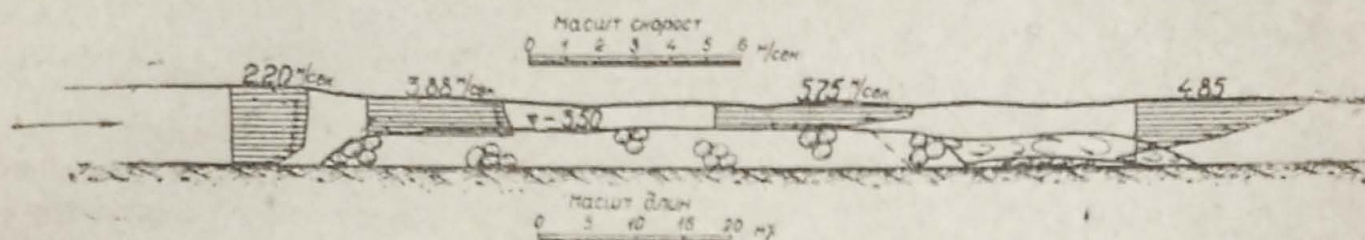
Гидравлической характеристикой того сопротивления, которое оказывает движению потока всякая поверхность, в том числе и поверхность наброски, является, как известно, коэффициент шероховатости, а затем и коэффициент Шези, обычно вычисляемые по одной из эмпирических формул, составленных по данным опытных измерений в натуре.

Основываясь на данных строительного опыта по наброске камня в текущую воду на Свирьстрое и Нивастрое, автор, на данном этапе исследования, полагает возможным рекомендовать следующее среднее значение коэффициента шероховатости.

Для случая практически однородной отсыпи из камня „подручного“ (D от 15 до 25 см) размера и расчетов по формуле Маннинга,¹ среднее значение коэффициента шероховатости

$$n_M = 0,05.$$

Обратим внимание на то обстоятельство, что это сравнительно высокое значение коэффициента шероховатости значительно снизится, если промежутки между однородными камнями отсыпи, по той или иной причине, окажутся заполненными более мелким материалом.

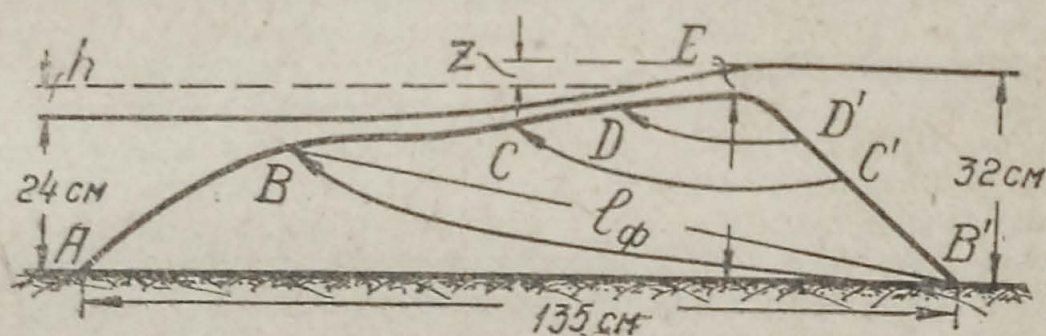


Фиг. 7. Распределение скоростей при переливе через отсыпь. За отсыпью — поверхностный режим.

В заключение настоящего параграфа обратим внимание на то существенное и благоприятное для сооружения отсыпей обстоятельство, что сопряжение с нижним бьефом потока, покидающего откос наброски, происходит по типу поверхностного режима.

На приведенном для иллюстрации к сказанному чертежу, фиг. 7, относящемся к лабораторным опытам Гидротехнической Лаборатории № 1 НИИГ по наброске камня в текущую воду на р. Тулуме — видно, что при значительном росте, по сравнению с бытовыми, скоростей над наброской и в верхних слоях потока — придонные, направленные против течения (обратные), скорости за наброской (нижний бьеф) по величине не превосходят бытовых. Такое распределение скоростей не угрожает размывами русла за отсыпью.

§ 5. О фильтрационном потоке в теле каменной отсыпи. Остановимся прежде всего на выяснении общего характера фильтрационного потока в теле отсыпи



Фиг. 8. Линии фильтрационных токов по данным лабораторного опыта.

при достаточно развитой форме последней. На фиг. 8, относящейся к лабораторному исследованию в фильтрационном отношении модели каменной отсыпи, показаны полученные из опыта линии фильтрационных токов. Здесь, прежде всего, обращает на себя внимание то обстоятельство, что линии токов выходят в основном в пределах пологой части $B—E$ низового откоса (см. фиг. 8). В области ниже линии $B—B'$ скорости

¹ В виду большой шероховатости откоса наброски, в соответствии с формулой для коэф. Шези акад. Н. Н. Павловского, следовало бы пользоваться иным, чем в формуле Маннинга показателем степени. Но в связи с сравнительно небольшими при переливе через наброску колебаниями R , мы сочли возможным, в данное время, не уточнять этот вопрос.

фильтрации по величине значительно уступают таковым верхней зоны. Объяснение этому можно видеть в том обстоятельстве, что участок AB низового откоса представляет собой линию равных пьезометрических напоров, отвечающих нижнему бьефу. Частицы воды, вступившие на верховом откосе в точке B' , следуют в своем движении к нижнему бьефу по линии меньшего сопротивления, каковой и является линия BB' по сравнению с линией AB' .

Тенденция к подтягиванию фильтрационных токов к участку низового откоса и основная фильтрационная роль зоны, лежащей выше линии BB' , усиливается, вследствие наличия сосредоточенного перепада на водосливном участке, вблизи гребня отсыпи и обнаруженного опытами несколько пониженного давления у гребня, вследствие отрыва струй при обтекании последнего.

В связи со сказанным отметим, что на водосливном участке выходит на поверхность отсыпи значительная часть фильтрационного расхода, увеличивая собой массу воды, двигающуюся по низовому откосу-быстротоку.

При составлении расчетной схемы для определения величины фильтрационного расхода, выходящего по длине откоса отсыпи-быстротока могут быть использованы и следующие подмеченные в опытах обстоятельства.

В ряде случаев линии токов подразделяют верховой EB' и низовой BE откосы на отрезки, которые являются, примерно, пропорциональными. Так, например (см. фиг. 8),

$$\frac{EB}{ED} = \sim \frac{EB'}{ED'}$$

Кроме того, некоторые лабораторные измерения указывают на то, что для определенного профиля наброски в зоне выше линии BB' средние по длине различных линий токов скорости фильтрации, повидимому, не слишком сильно отличаются друг от друга по величине.

В виду сложности конфигурации и наличия переливающейся через наброску части потока, мы сочли возможным, в данное время, не детализировать расчетной схемы фильтрации и наши соображения о вероятной величине фильтрационного расхода будут основываться¹ на выявленной опытом и изложенной выше общей картине движения фильтрационного потока.

Общий характер последнего позволяет, как показало сравнение результатов подсчетов с данными лабораторных опытов, для грубо приближенной оценки той части расхода, которая не принимает участия в движении по низовому откосу отсыпи-быстротоку, а проходит в нижний бьеф путем фильтрации сквозь тело плотины — принять следующее: за среднюю длину пути фильтрации показанную на фиг. 8 длину l_f , за средний действующий при этом напор — перепад h , являющийся результатом потери напора поверхностной части потока на участке низового откоса-быстротока и за высоту сечения — высоту отсыпи H , чем в некоторой мере учитывается и часть расхода, фильтрующаяся ниже линии тока $B - B'$.

При этом следует считать хорошим практическим правилом неучет (в запас) той части фильтрационного расхода, которая обуславливается z , — перепадом на водосливном участке. Эта часть фильтрационного расхода выходит на поверхность непосредственно за водосливным участком и потому фактически не уменьшает расхода той части потока, которая движется по откосу-быстротоку.

Отметим, что вопрос о величине фильтрационной части расхода начинает приобретать практический интерес лишь для этапа сооружения, близкого к моменту выхода наброски из воды.

В стадии водослива, как показывает опыт, величина расхода фильтрующегося сквозь тело отсыпи составляет лишь незначительную по сравнению с поверхностным потоком часть. При этом и здесь имеет место отмеченная выше для стадии быстротока тенденция к подтягиванию фильтрационных токов к верхней части отсыпи.

¹ Как это более подробно изложено в „Постройке плотин наброской камня в текущую воду“, стр. 55 и 56.

II. Основы гидравлического расчета наброски.

§ 6. **Формулировка основной задачи.** Основная задача¹ при гидравлическом расчете наброски камня в текущую воду может быть, для условий плоской задачи, формулирована следующим образом.

Известны: постоянный во все время производства наброски расход на один погонный метр ширины русла q_0 ($m^2/сек$); бытовая глубина реки, соответствующая этому расходу h_0 (m); для набрасываемого в текущую воду камня, приведенного к шару, диаметр его D (m); объемный вес вещества камня Δ_1 (m/m^3) и воды Δ (m/m^3) и значения входящих в расчеты опытных коэффициентов (устойчивости камня, шероховатости откоса, расхода и т. п.).

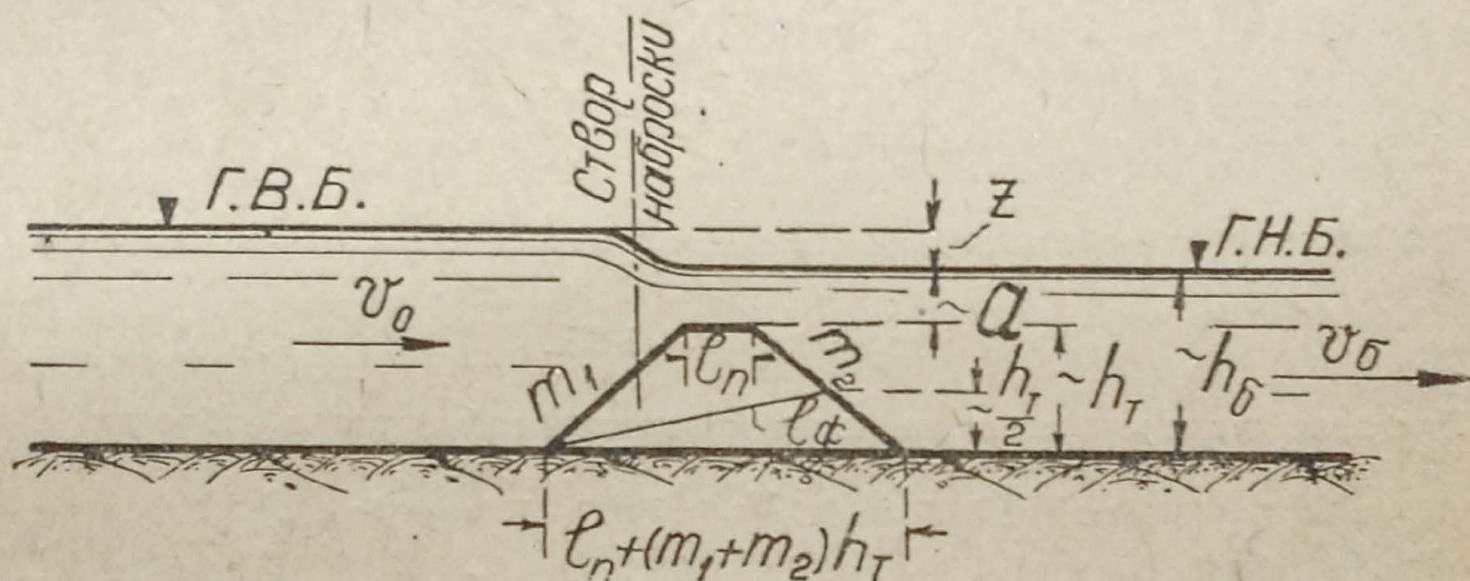
Имеется в виду случай, спокойного в бытовых условиях состояния потока, т. е.

$$h_0 > h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha q_0^2}{g}}$$

Обеспечена также сама возможность образования в заданном потоке отсыпи из камня данного размера, т. е. удовлетворено условие

$$v_0 = \frac{q_0}{h_0} < v_{\min},$$

где v_{\min} — минимальное значение сдвигающей данный камень скорости.



Фиг. 9. Расчетная схема первой конфигурации.

При заданном перепаде (разнице горизонтов верхнего и нижнего бьефов) требуется определить конфигурацию наброски и ее основные размеры.

В соответствии с описанной выше последовательностью явлений, при расчете наброски камня в текущую воду, мы рассмотрим сначала стадию водослива, затем стадию быстротока. В пределах каждой из этих стадий надлежит осветить расчетом входящие в них характерные конфигурации (см. фиг. 3).

§ 7. **Расчет первой и второй конфигураций наброски.** Стадия водослива характеризуется двумя основными конфигурациями наброски.

Расчетная схема первой конфигурации (см. фиг. 9) составлена нами для момента, когда достигнут тот предел роста высоты отсыпи h_T , при котором возросшие до значения v_{\min} скорости потока начинают сдвигать (сметать) камни, лежащие на вершине отсыпи; до этого момента последняя формировалась по очертанию, близкому к треугольному с горизонтальной площадкой l_n , определяемой лишь неизбежными на практике смещениями створов наброски.

Задачей расчета здесь является выяснение максимальной высоты наброски, а равно и величины перепада, которые могут быть достигнуты при этой конфигурации.

¹ Излагаемый здесь метод решения основной задачи позволил нам решить и ряд ее видоизменений: случай переменного расхода и аккумулирующего влияния верхнего бьефа, иных, чем в основной задаче исходных заданных величин и т. п. Указанные случаи здесь не приводятся.

Если пренебречь, вообще говоря, незначительной при этой конфигурации фильтрацией сквозь тело наброски,¹ ход расчета может быть следующим.

Определяем

$$v_{\min} = Y_c \Pi \cdot \sqrt{D} = 0,86 \cdot \sqrt{2g \frac{\Delta_1 - \Delta}{\Delta}} \cdot \sqrt{D},$$

находим, затем,

$$a = \frac{q_0}{v_{\min}}$$

$$h_T = h_0 - a.$$

Величина перепада, исправленная „на скорость подхода“, полагая водослив затопленным,

$$Z_0 = \frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{v_{\min}^2}{2g},$$

где $\varphi = 0,92$.

Определение разности горизонтов верхнего и нижнего бьефов Z , строго говоря, следует вести подбором, так как наперед неизвестна скорость подхода v_0 ; однако, приняв, что при малых перепадах уместно,

$$v_0 = \sim v_0,$$

найдем

$$Z = \frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{v_{\min}^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g}.$$

Как показывает опыт отношение заложения откоса к высоте наброски составляет обычно

$$m_1 = m_2 = \sim 1,25.$$

При этом ширина отсыпи понизу при первой конфигурации наброски

$$L_1 = l_{\Pi} + (m_1 + m_2) \cdot h_T = l_{\Pi} + 2,5 h_T.$$

При высоте отсыпи, меньшей h_T и действующих на гребне скоростях, меньших v_{\min} , порядок определения элементов отсыпи (задаваясь $v < v_{\min}$) останется прежним.

Расчетные схемы второй конфигурации (см. фиг. 10, схемы А и Б) относятся к тому этапу, когда при дальнейшем, свыше величины h_T , росте отсыпи, происходит снос дополнительно набрасываемого камня и удлинение отсыпи, стремящейся перейти к стадии быстротока (третья конфигурация). Этот переход, — от первой конфигурации, когда устойчивость определяется сдвигающей скоростью v_{\min} , к третьей уже весьма развитой стадии с значительными потерями напора по длине быстротока, где камни на откосе оказываются защищенными рядом лежащими и способны сопротивляться на выкатывание их возросшей скоростью v_{\max} , и отражает вторая конфигурация наброски. Являясь относительно короткой и относясь по своему гидравлическому существу к стадии водослива, вторая конфигурация обладает в то же время настолько развитой по верху отсыпи площадкой водосливного участка длиной l_B , что в последний переходный момент при второй конфигурации уже создаются новые, повышенные условия устойчивости камня, характеризуемые сопротивлением скорости v_{\max} .

Изображенные на фиг. 10 расчетные схемы относятся к последнему моменту существования второй конфигурации отсыпи, достигшей максимальной для этой конфигурации высоты h_1 , при которой скорость над наброской равна v_{\max} ; непосредственно вслед за этим моментом отсыпь переходит к своей третьей конфигурации. Схема А представляет собой затопленный, схема Б — незатопленный водослив с широким порогом, образованный отсыпью.

¹ В противном случае задача, решение которой здесь не приводим, решается подбором.

Решим, прежде всего, вопрос о том, в каких случаях какой именно из двух приведенных схем надлежит пользоваться.
Для условий схемы А имеем

$$Z_0 = \frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{v_{\max}^2}{2g}$$

$$h_0 = \frac{q}{v_{\max}}$$

Для того, чтобы водослив был действительно затоплен, согласно постулату проф. Бахметева требуется, чтобы было удовлетворено неравенство (см. также фиг. 10)

$$h_0 > k(h_0 + Z_0)$$

(где, как известно, $k = \frac{2\varphi^2}{1+2\varphi^2}$)

или
$$(1 - k)h_0 > kZ_0$$

$$h_0 > \frac{k \cdot Z_0}{1 - k}$$

Умножая обе части последнего неравенства на v_{\max} и подставляя в него значение Z_0 , получим,

$$q > \frac{k}{(1 - k)\varphi^2} \cdot \frac{v_{\max}^3}{2g}$$

Обозначим через $q_{\text{пр.}}$ (q предельное), то наименьшее значение q , при котором водослив еще является затопленным, тогда

$$q_{\text{пр.}} = \frac{k}{(1 - k)\varphi^2} \cdot \frac{v_{\max}^3}{2g} = \frac{2\varphi^2}{(1 + 2\varphi^2) \cdot \left(1 - \frac{2\varphi^2}{1 + 2\varphi^2}\right) \cdot \varphi^2} \cdot \frac{v_{\max}^3}{2g} = \frac{v_{\max}^3}{g}$$

Очевидно, при $q > q_{\text{пр.}}$ водослив с широким порогом будет работать, как затопленный и действительна схема А; при $q < q_{\text{пр.}}$ — не затоплен и надлежит обращаться к схеме Б.

Как видно, из последнего выражения величина $q_{\text{пр.}}$ зависит только от применяемого для наброски камня (v_{\max}). Это позволяет заранее подсчитать значения $q_{\text{пр.}}$.

Так, при коэффициенте устойчивости камня $Y_{\text{с.}} = 1,20$ и при объемном весе вещества последнего $\Delta_1 = 2,60 \text{ т/м}^3$, получим

$$q_{\text{пр.}} = 31,3 D^{\frac{3}{2}},$$

что дает, например, следующее:

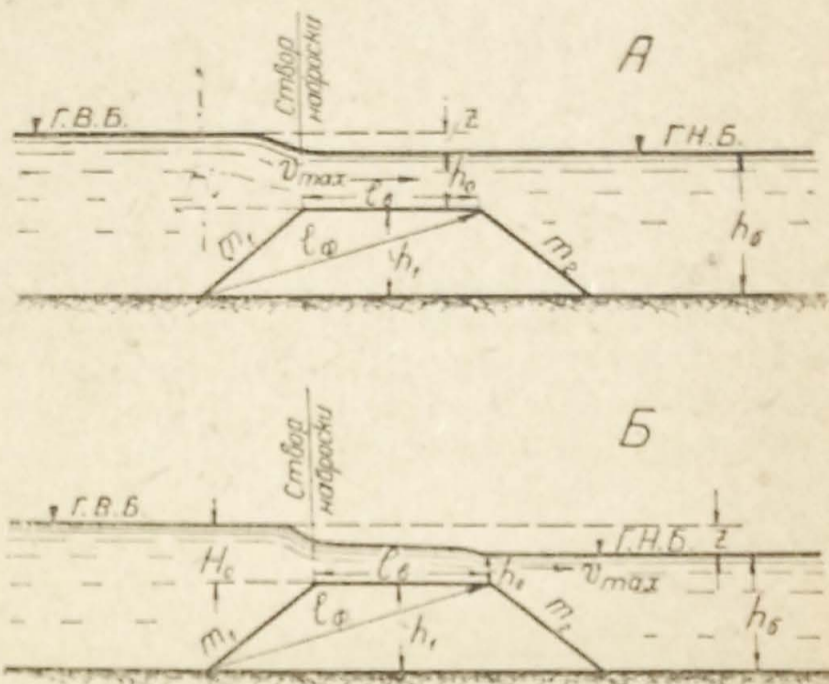
При D , в м	0,20,	0,25,	0,30,
$q_{\text{пр.}}$ в $\text{м}^3/\text{сек}$ на пог. м	2,81,	3,91,	5,15.

Полученные величины $q_{\text{пр.}}$ говорят за то, что на практике могут встретиться расходы q и больше и меньше $q_{\text{пр.}}$.

Итак, перед приступом к расчету второй конфигурации наброски путем вычисления $q_{\text{пр.}}$ и сопоставления его в первом приближении ¹ с q_0 надлежит, прежде всего, решить вопрос о состоянии водослива (затопленном или незатопленном) и тем решить выбор расчетной схемы второй конфигурации (А или Б).

Расчет по схеме А ($q > q_{\text{пр.}}$; водослив затоплен) при учете фильтрации сквозь тело наброски пришлось бы вести подбором, так как заранее неизвестно $q_{\text{ф.}}$. Не представляя затруднений, учет фильтрации при второй конфигурации наброски,

¹ Так как заранее неизвестно $q = q_0 - q_{\text{ф.}}$; в случае, если $q_{\text{пр.}}$ лишь незначительно отличается от q_0 — без предварительных подсчетов $q_{\text{ф.}}$ нельзя решить вопрос о состоянии водослива и задача решается подбором.



Фиг. 10. Расчетные схемы второй конфигурации.

однако, имеет малое практическое значение.¹ Поэтому здесь ограничиваемся изложением расчета без учета фильтрации.

Определяем максимальную скорость, которую способен выдержать камень, сопротивляющийся гидродинамическому воздействию потока, стремящемуся выкатить его из „гнезда“.

$$v_{\max} = Y_0 \cdot \Pi \cdot \sqrt{D} = 1,20 \sqrt{2g \frac{\Delta_1 - \Delta}{\Delta}} \cdot \sqrt{D}.$$

Далее

$$h_0 = \frac{q_0}{v_{\max}}$$

$$h_1 = h_0 - h_0$$

и

$$Z_0 = \frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{v_{\max}^2}{2g}.$$

Приняв, как и в случае первой конфигурации,

$$v_0 = \sim v_0,$$

разность горизонтов верхнего и нижнего бьефов найдем по формуле

$$Z = \frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{v_{\max}^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g}.$$

Показанный на схеме размер l_0 — длины водослива с широким порогом, как показывает опыт, может быть определен по формуле

$$l_0 = \sim 3h_k = \sim 3 \sqrt[3]{\frac{aq^2}{g}}.$$

Расчет по схеме Б ($q < q_{\text{пр}}$; водослив не затоплен) изложим здесь также без принятия во внимание фильтрационной части расхода; в своей первой части он аналогичен предыдущему

$$v_{\max} = 1,20 \sqrt{2g \frac{\Delta_1 - \Delta}{\Delta}} \cdot \sqrt{D};$$

$$h_0 = \frac{q_0}{v_{\max}};$$

$$h_1 = h_0 - h_0$$

$$l_0 = \sim 3h_k = \sim 3 \sqrt[3]{\frac{aq^2}{g}}.$$

Далее, определяем

$$H_0 = \left(\frac{q_0}{M}\right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{q_0}{1,55}\right)^{\frac{2}{3}} \text{ (при } \varphi = 0,92; M = 1,55)$$

$$Z_0 = H_0 - h_0.$$

принимая

$$v_0 = \sim v_0,$$

получим

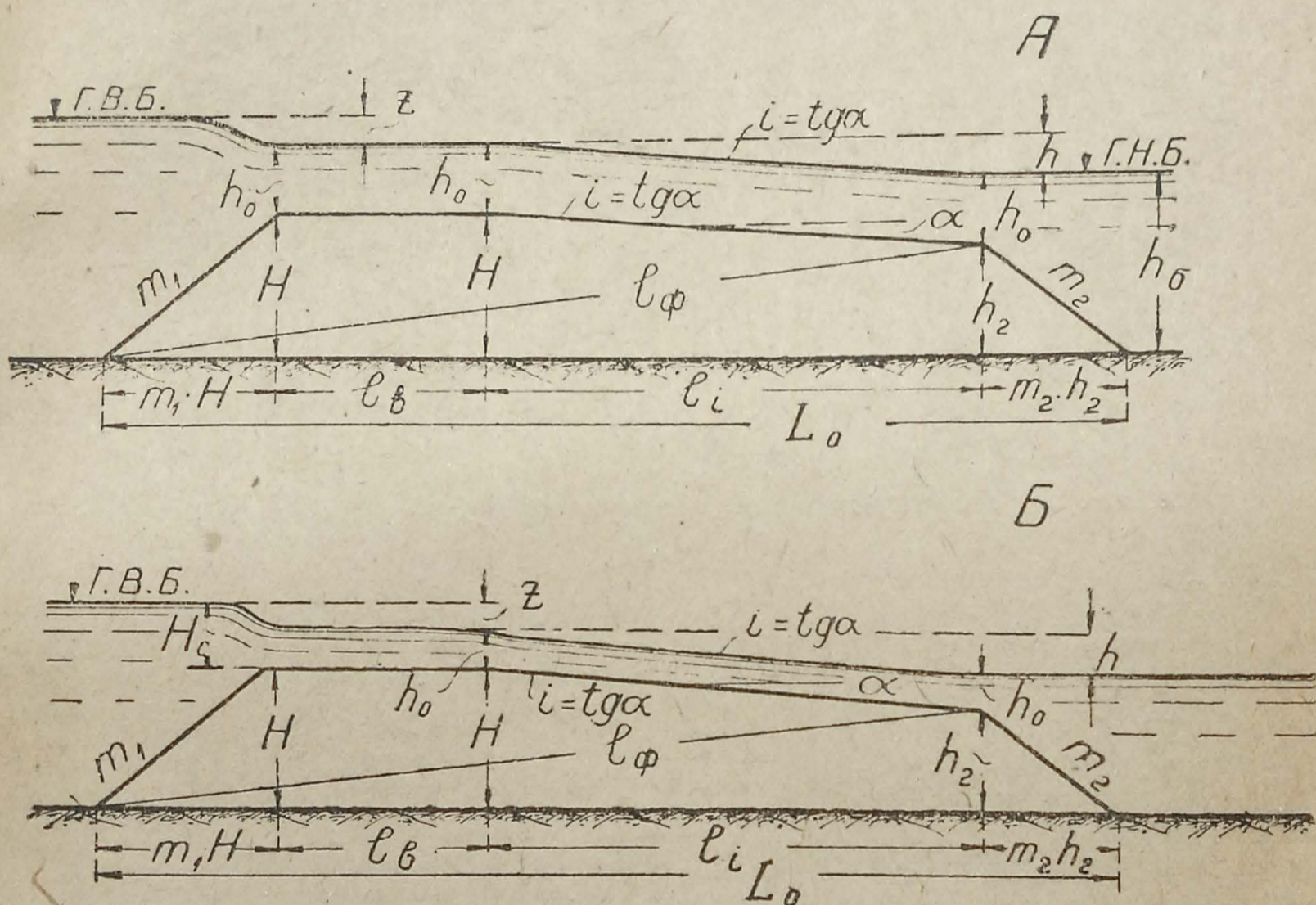
$$z = H_0 - h_0 - \frac{v_0^2}{2g}.$$

¹ Действительно, помимо того, что фильтрационная часть расхода при второй конфигурации оказывается незначительной, под влиянием сосредоточенного перепада Z на водосливном участке, фильтрационный расход, особенно при схеме А, в своей значительной части выйдет на поверхность наброски в начале участка l_0 и потому мало повлияет на уменьшение скоростей над наброской.

§ 8. Расчет третьей конфигурации наброски. Стадия быстротока¹ следует за только что рассмотренным предельным моментом существования второй конфигурации. Непосредственный рост величины h_1 при этой последней (см. фиг. 10) уже невозможен; это привело бы к уменьшению глубины h_0 и увеличению скорости сверх величины v_{\max} , которой камень не в состоянии сопротивляться. Поэтому набрасываемый камень сносится потоком и ложится с некоторым уклоном в сторону нижнего бьефа, создавая сравнительно пологий откос, по которому, как показывает опыт, поток движется с почти постоянной глубиной, равной (см. фиг. 11)

$$h_0 = \frac{q}{v_{\max}}$$

Мы имеем третью конфигурацию отсыпи.



Фиг. 11. Расчетные схемы третьей конфигурации.

Расчетные схемы третьей конфигурации (см. фиг. 11, схемы А и Б) имеют следующие основные черты. Конфигурация наброски состоит из двух частей: головной части, представляющей собой водослив с широким порогом длиной l_b , перед которым создается местный перепад Z , идущий на увеличение скорости до v_{\max} и быстротока (при схеме А — собственно лотка малого уклона), по которому поток движется со скоростью v_{\max} , затрачивая на его длине напор (перепад) равный h .

При сравнительно развитой конфигурации отсыпи, величина h , обусловленная потерей напора по длине наброски, является основной частью общего перепада, определяющего разницу горизонтов верхнего и нижнего бьефов, чем существенно и отличается стадия быстротока от таковой водослива.

¹ Следует отметить, что название быстротока справедливо в гидравлическом смысле этого слова, как мы увидим дальше, лишь для случая, когда $q < q_{\text{пр}}$; при $q > q_{\text{пр}}$ (случай вообще более редкий) — наименование стадии быстротока становится условным, так как при этом откос наброски представляет собой в гидравлическом смысле уже не быстроток, а так называемый „лоток малого уклона“.

Расчет водосливного участка, в части определения местного перепада Z зависит от того, затоплен ли (см. фиг. 11, схема А) или не затоплен (схема Б) водосливной участок.

Так как в обоих случаях глубина воды непосредственно за водосливным участком равна

$$h_0 = \frac{q}{v_{\max}},$$

то критерий для решения вопроса о состоянии водослива остается тем же, который был приведен при изложении расчета второй конфигурации, а именно надлежит сравнить q с $q_{\text{пр}}$.

При $q > q_{\text{пр}}$ водосливной участок окажется затопленным (фиг. 11, схема А); одновременно $h_0 > h_k$ и $i < i_k$, т. е. низовой откос отсыпи является лотком малого уклона в гидравлическом смысле этого термина, со спокойным состоянием равномерно движущегося по нему потока.

При $q < q_{\text{пр}}$ — водосливной участок не затоплен, $h_0 < h_k$; $i > i_k$ (см. фиг. 11, схема Б) и по низовому откосу мы имеем быстроток с равномерно движущимся, но находящимся уже в бурном состоянии потоком.

Ход расчета того участка отсыпи, где поток движется практически равномерно со скоростью v_{\max} остается при обеих (А и Б) схемах одинаковым.

Напомним, что применяя формулу Шези, найдем

$$v_{\max} = C \sqrt{Ri},$$

где C , если определять его по Маннингу,¹

$$C = \frac{1}{n_m} R^{\frac{1}{6}}$$

Далее, так как мы рассматриваем плоскую задачу, то

$$R = h_0$$

и потому

$$v_{\max} = \frac{1}{n} \cdot h_0^{\frac{1}{6}} h_0^{\frac{1}{2}} \cdot i^{\frac{1}{2}}.$$

С другой стороны,

$$v_{\max} = \frac{q}{h_0},$$

тогда

$$\frac{q}{h_0} = \frac{1}{n} \cdot h_0^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}$$

и, наконец,

$$i = \frac{n^2 \cdot q^2}{\frac{10}{3} h_0^3}.$$

Полученный для определения уклона i формулой и будем пользоваться в дальнейшем, как наиболее общей; в отдельных расчетных случаях может оказаться более удобным пользоваться несколько преобразованными частными видами той же формулы так, например,

$$i = \frac{n^2 q^2}{\frac{10}{3} h_0^3} = \frac{n^2 q^2 v_{\max}^{\frac{10}{3}}}{\frac{10}{3} q} = \frac{n^2 v_{\max}^{\frac{10}{3}}}{\frac{4}{3} q},$$

где произведение $n^2 \cdot v_{\max}^{\frac{10}{3}}$ есть величина для данного камня постоянная.

¹ См. примечание на стр. 21.

В частном случае незатопленного водосливного участка (фиг. 11, схема Б) можно

заменить q через $M \cdot H_0^{\frac{3}{2}}$, что дает¹

$$i = \frac{\frac{10}{3} n^2 v_{\max}}{\frac{4}{3} q} = \frac{\frac{10}{3} n^2 \cdot v_{\max}}{M^{\frac{4}{3}} \cdot H_0^2} = \frac{B}{H_0^2},$$

где

$$B = \frac{\frac{10}{3} n^2 \cdot v_{\max}}{M^{\frac{4}{3}}},$$

где B — есть постоянная для данного камня и типа водослива.

Существенное для расчетов практическое значение имеет числовое значение входящего в написанные выше выражения коэффициента шероховатости наброски n , для определения которого только лабораторные опыты оказываются недостаточными.²

Произведенный нами анализ строительного опыта по наброске камня на Нивастрое и Свирьстрое³ показал что в указанных случаях (отсыпи из округленного, сравнительно однородного, подручного размера камня) — достаточно удовлетворительные в смысле совпадения с натурой результат дал, при пользовании формулой Маннинга:

$$n = 0,05.$$

Перейдем теперь к изложению хода расчета третьей конфигурации наброски, отдельно для случаев затопленного и незатопленного водосливных участков.

Расчет по схеме А (фиг. 11; $q > q_{\text{пр}}$. — водосливной участок затоплен; $h_0 > h_{\kappa}$; $i_{\kappa} < i_{\kappa}$) для третьей конфигурации наброски придется вести подбором, так как неизвестна фильтрационная часть расхода $q_{\text{ф}}$.

Как это было указано при формулировке основной задачи перепад, а, следовательно, и горизонт верхнего бьефа полагаем заданным.

При отсутствии бокового водосброса или труб в теле отсыпи, расход q_0 не зависит от Г. В. Б. При наличии упомянутых сооружений, q_0 для заданного Г. В. Б. определяется по заранее подсчитанным таблицам или графикам. Далее, по кривой связи q_0 с горизонтом нижнего бьефа определяем Г. Н. Б., соответствующий полученному q_0 .⁴

Затем на основе сказанного определяем разность горизонтов верхнего и нижнего бьефов

$$(\nabla \text{ Г. В. Б. }) - (\nabla \text{ Г. Н. Б. })$$

и

$$h = (\nabla \text{ Г. В. Б. }) - (\nabla \text{ Г. Н. Б. }) - Z,$$

где

$$Z = \frac{1}{\varphi^2} \frac{v_{\max}^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g}.$$

Величину v_{\max} полагаем уже найденной при расчете второй конфигурации наброски.

$$v_0 = \frac{q_0}{\nabla \text{ Г. В. Б. } - \nabla \text{ дна}}$$

¹ В упомянутой в § 1 статье, написанной мной для „Свирьстроя“, — в связи с приводимой ниже формулой отмечается предложение инженеров Строительства Б. В. Зализняка и К. Г. Асатура.

² См. „Постройка плотин наброской камня в текущую воду“, стр. 79.

³ См. раздел III настоящей статьи.

⁴ Горизонт нижнего бьефа будет функцией расхода, идущего через наброску, если водосброс отводит воду не в нижний бьеф, а, например, в другую реку. В обычных случаях, когда водосброс отводит воду в нижний бьеф одного и того же водотока, Г. Н. Б. очевидно зависит от расхода реки в верхнем бьефе, т. е. от суммы расходов водосброса и наброски.

Далее задаемся предполагаемой величиной q'_ϕ и находим

$$q' = q_0 - q'_\phi.$$

Определив

$$h'_0 = \frac{q'}{v_{\max}},$$

находим затем

$$i' = \frac{n^2 q'^2}{h_0'^3}$$

и показанные на схеме величины

$$l'_i = \frac{h}{i'}$$

$$h'_2 = h_s - h'_0$$

$$H' = h'_2 + h$$

$$l'_s \sim 3 \sqrt[3]{\frac{\alpha q'^2}{g}}$$

$$l'_\phi = \sqrt{h_2'^2 + (l'_i + l'_s + m_1 H')^2} \sim l'_i + l'_s + m_1 H'.$$

Затем²

$$I' = \frac{h}{l'_\phi}.$$

Скорость турбулентной фильтрации \mathfrak{B} может быть определена по формуле

$$\mathfrak{B}' = C_0 \cdot p \cdot \sqrt{DI'} \text{ см/сек},$$

где для однородной отсыпи из подручного камня и размеров в сантиметрах:

$$C_0 \sim 20; \quad p \sim 0,37.$$

Далее

$$q''_\phi = \mathfrak{B}' \cdot H'.$$

Если $q''_\phi \cong q'_\phi$, расчет окончен; при значительном расхождении между q''_ϕ и q'_ϕ задаемся новым значением q'_ϕ и повторяем расчет; второго приближения в большинстве случаев оказывается достаточным.

Наконец, полная длина отсыпи понизу

$$L_0 = m_1 H + m_2 h_2 + l_s + l_i$$

при $m_1 = m_2 = 1,25$

$$L_0 = 1,25 (H + h_2) + l_s + l_i.$$

Площадь профиля наброски

$$\Omega = m_1 \frac{H^2}{2} + m_2 \frac{h_2^2}{2} + l_s \cdot H + l_i \left(H_2 + \frac{h}{2} \right)$$

при $m_1 = m_2 = 1,25$, очевидно

$$\Omega = 0,625 (H^2 + h_2^2) + l_s \cdot H + l_i \left(h_2 + \frac{h}{2} \right).$$

¹ Значок (prim.) будет в последующем относиться ко всем величинам, связанным с предполагаемым фильтрационным расходом.

² Здесь остаются в силе уже высказанные раньше соображения, что часть фильтрационного расхода, фильтрующаяся в отсыпи под влиянием сосредоточенного перепада на водосливной мушкетке, в основной части выходит на поверхность в пределах последнего и потому мало влияет на уменьшение скоростей на откосе наброски; поэтому при исчислении градиента I вводим лишь h .

Расчет по схеме Б (фиг. 11; $q < q_{пр}$; водосливной участок не затоплен; $h_0 < h_k$; $i > i_k$). Не повторяя тех исходных соображений, которые были высказаны для схемы А, отметим лишь, что и здесь, исходя из данных задачи, нетрудно определить разность

$$(\nabla \text{Г.В.Б.}) - (\nabla \text{Г.Н.Б.}),$$

задаваясь затем $q'_ф$, находим

$$q' = q_0 - q'_ф.$$

и

$$h'_0 = \frac{q'}{v_{\max}}.$$

Затем определяем

$$H'_0 = \left(\frac{q'}{M}\right)^{\frac{2}{3}}; \quad \text{при } \varphi = 0,92 \quad H'_0 = \left(\frac{q'}{1,55}\right)^{\frac{2}{3}}.$$

Тогда

$$Z' = H'_0 - h_0^{\prime 1}$$

$$Z' = Z'_0 - \frac{v_0^2}{2g}$$

и

$$h' = (\nabla \text{Г.В.Б.}) - (\nabla \text{Г.Н.Б.}) - Z'.$$

Расчет быстротока, определение фильтрационного расхода и размеров отсыпи выполняются так же, как это было показано для схемы А.

В заключение к расчетным схемам по третьей конфигурации наброски отметим следующее. Для определения различных элементов, формулы даны в их основном, непосредственно отвечающем схемам, изображенным на фиг. 11, виде и заданным в основной задаче исходным условиям. Значительная часть формул может быть переписана и в ином виде, раскрывая значения входящих в них элементов, упрощая некоторые зависимости и т. п., что для некоторых частных случаев расчета является удобным, а иногда и необходимым.

Так, например, при весьма удлиненных отсыпях, когда местный перепад на водосливном участке Z мал по сравнению с потерями по длине наброски h (и в свою очередь l_0 мало по сравнению с l_i) — в некоторых случаях (например, при отсутствии бокового водосброса; при выяснении в первую очередь кубатуры наброски и др.) представляется возможным упростить расчет третьей конфигурации наброски, исключив из рассмотрения водосливной участок и рассматривая в расчетной схеме только быстроток.

Напротив того, в тех случаях, когда уточненное определение отметки верхнего бьефа имеет существенный практический интерес, надлежащий учет местного перепада на водосливном участке наброски всегда желателен.

§ 9. Расчет четвертой конфигурации наброски. Прежде всего надлежит выяснить вопрос, при каких условиях может иметь место переход от третьей к четвертой конфигурации наброски (см. фиг. 3).

Представляется очевидным, что, если имеет место практическое постоянство величины q (например, при отсутствии водосброса и ничтожно малой по сравнению с q величиной $q_ф$), отсыпь при наброске камня в текущую воду будет все время распространяться в длину, сохраняя третью конфигурацию, и наступления четвертой конфигурации не последует. Можно показать также, что основной элемент, характеризующий, при этом, распространение в длину отсыпи — величина l_i (см. схемы на фиг. 11) — окажется прямо пропорциональной перепаду h , обусловленному потерей напора по длине отсыпи.

¹ При $q < q_{пр}$, перепад $Z' < \frac{1}{\varphi^2} \frac{v_{\max}^2}{2g}$. Однако, при движении по быстротоку в начале его часть перепада может идти на увеличение скорости до v_{\max} .

$$l_i = \frac{1}{i} h = \frac{h_0^{\frac{10}{3}}}{n^2 q^2} \cdot h = \frac{q^{\frac{4}{3}}}{n^2 \cdot v_{\max}^{\frac{10}{3}}} h$$

или

$$l_i = E \cdot h,$$

где

$$E = \frac{q^{\frac{4}{3}}}{n^2 \cdot v_{\max}^{\frac{10}{3}}} = \text{const},$$

при $q = \text{const}$ и данном камне, определяющем собой как величину коэффициента шероховатости n , так и скорости v_{\max} .

Полученная зависимость и может служить для грубо-ориентировочных соображений о распространенности отсыпи, всегда имеющей при приведенных выше условиях третью конфигурацию.

Четвертая конфигурация наступит только тогда, когда по той или иной причине произойдет существенное уменьшение величины q . На ряду с более интенсивным чем ранее ростом в высоту гребня отсыпи и переломом-низового откоса, становящегося более крутым в верхней своей части, — одним из наиболее существенных признаков наступления четвертой конфигурации является прекращение роста наброски в сторону нижнего бьефа.

Как уже было указано, основной величиной, определяющей распространенность наброски в сторону нижнего бьефа, является величина l_i . Посмотрим, какому условию должны удовлетворять h и q , чтобы величина l_i начала уменьшаться. Обозначим индексом a все величины, при которых l_i достигло максимума.

Условие

$$l_i < (l_i)_a$$

может быть переписано в форме

$$\frac{h}{i} < \frac{h_a}{i_a}.$$

Величина

$$\frac{h}{i} = \frac{h \cdot q^{\frac{4}{3}}}{n^2 \cdot v_{\max}^{\frac{10}{3}}} = \frac{h \cdot q^{\frac{4}{3}}}{A},$$

где $A = n^2 \cdot v_{\max}^{\frac{10}{3}} = \text{const}$ для данного камня.

Аналогично:

$$\frac{h_a}{i_a} = \frac{h_a \cdot q_a^{\frac{4}{3}}}{A}.$$

Тогда предыдущее неравенство переписется в форме

$$\frac{h \cdot q^{\frac{4}{3}}}{A} < \frac{h_a \cdot q_a^{\frac{4}{3}}}{A}.$$

Иначе говоря, l_i в том случае начнет уменьшаться по сравнению с максимальным ее значением $(l_i)_a$, достигнутым при третьей конфигурации и сама наброска

¹ Вступление в работу бокового водосброса или труб в теле отсыпи, значительная фильтрация сквозь тело отсыпи и т. п.

$$l_i = \frac{1}{i} h = \frac{h_0^{\frac{10}{3}}}{n^2 q^2} \cdot h = \frac{q^{\frac{4}{3}}}{n^2 \cdot v_{\max}^{\frac{3}{10}}} h$$

или

$$l_i = E \cdot h,$$

где

$$E = \frac{q^{\frac{4}{3}}}{n^2 \cdot v_{\max}^{\frac{3}{10}}} = \text{const},$$

при $q = \text{const}$ и данном камне, определяющем собой как величину коэффициента шероховатости n , так и скорости v_{\max} .

Полученная зависимость и может служить для грубо-ориентировочных соображений о распространенности отсыпи, всегда имеющей при приведенных выше условиях третью конфигурацию.

Четвертая конфигурация наступит только тогда, когда по той или иной причине l_i произойдет существенное уменьшение величины q . На ряду с более интенсивным чем ранее ростом в высоту гребня отсыпи и переломом низового откоса, становящегося более крутым в верхней своей части, — одним из наиболее существенных признаков наступления четвертой конфигурации является прекращение роста наброски в сторону нижнего бьефа.

Как уже было указано, основной величиной, определяющей распространенность наброски в сторону нижнего бьефа, является величина l_i . Посмотрим, какому условию должны удовлетворять h и q , чтобы величина l_i начала уменьшаться. Обозначим индексом a все величины, при которых l_i достигло максимума.

Условие

$$l_i < (l_i)_a$$

может быть переписано в форме

$$\frac{h}{i} < \frac{h_a}{i_a}.$$

Величина

$$\frac{h}{i} = \frac{h \cdot q^{\frac{4}{3}}}{n^2 \cdot v_{\max}^{\frac{3}{10}}} = \frac{h \cdot q^{\frac{4}{3}}}{A},$$

где $A = n^2 \cdot v_{\max}^{\frac{3}{10}} = \text{const}$ для данного камня.

Аналогично:

$$\frac{h_a}{i_a} = \frac{h_a \cdot q_a^{\frac{4}{3}}}{A}.$$

Тогда предыдущее неравенство переписется в форме

$$\frac{h \cdot q^{\frac{4}{3}}}{A} < \frac{h_a \cdot q_a^{\frac{4}{3}}}{A}.$$

Иначе говоря, l_i в том случае начнет уменьшаться по сравнению с максимальным ее значением $(l_i)_a$, достигнутым при третьей конфигурации и сама наброска

¹ Вступление в работу бокового водосброса или труб в теле отсыпи, значительная фильтрация сквозь тело отсыпи и т. п.

перейдет к четвертой конфигурации, когда произведение $h \cdot q^{\frac{4}{3}}$ начнет уменьшаться по сравнению с предыдущим, т. е.

$$h \cdot q^{\frac{4}{3}} < h_a \cdot q_a^{\frac{4}{3}}.$$

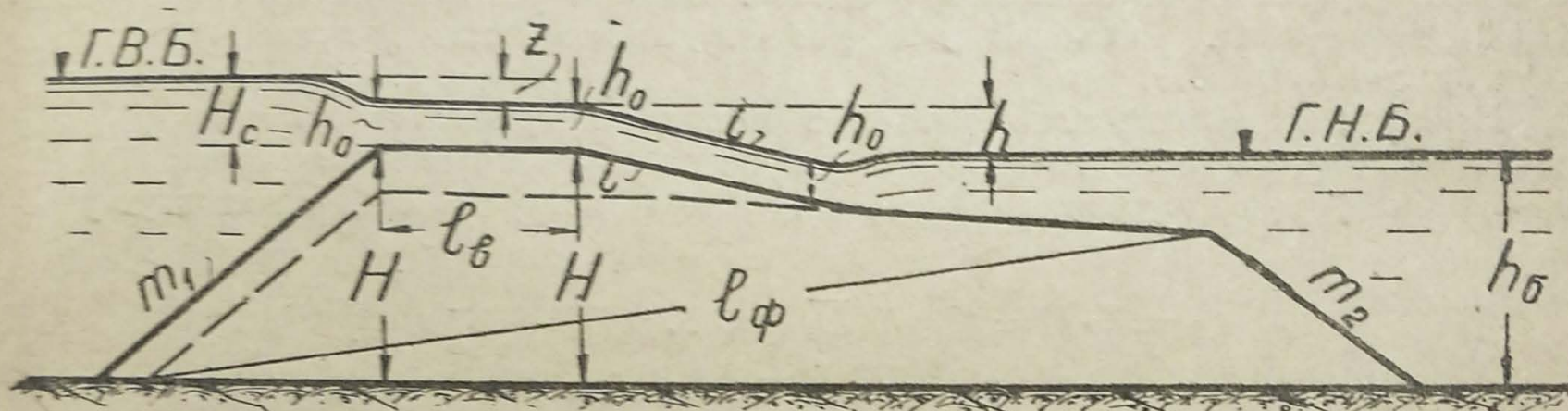
Разность горизонтов верхнего и нижнего бьефов, которая отвечает максимальному значению l_i — при этом, проще всего определяется в результате построения графика: $mq' = f(\nabla \text{Г. В. Б.} - \nabla \text{Г. Н. Б.})$.

Расчетная схема для четвертой конфигурации наброски изображена на фиг. 12. Ход расчета по ней следующий. Для заданного горизонта верхнего бьефа определяем величину q_0 и соответствующий ему горизонт нижнего бьефа. Таким образом разность $(\nabla \text{Г. В. Б.}) - (\nabla \text{Г. Н. Б.})$ может считаться известной. Задаемся фильтрационным расходом q'_ϕ и находим

$$q' = q_0 - q'_\phi.$$

Определяем величину H'_0 , имея в виду незатопленный водосливный участок:

$$H'_0 = \left(\frac{q'}{M} \right)^{\frac{2}{3}}.$$



Фиг. 12. Расчетная схема четвертой конфигурации.

Причем для величины M , чтобы не преувеличить подпор, создаваемый наброской, что для четвертой стадии, обычно связанной с работой бокового водосброса, особенно существенно, выбираем наибольшее для водослива с широким порогом значение $M = 1,72$.

Полагая заранее вычисленной для данного камня величину v_{\max} , находим

$$h'_0 = \frac{q'}{v_{\max}}$$

и

$$Z' = H'_0 - h'_0 - \frac{v_0^2}{2g}.$$

Далее, если водосливный участок не затоплен

$$H' = (\nabla \text{Г.В.Б.}) - (\nabla \text{дна}) - H'_0 - \frac{v_0^2}{2g}$$

$$h' = (\nabla \text{Г.В.Б.}) - (\nabla \text{Г.Н.Б.}) - Z'.$$

Для определения фильтрационного расхода, средний градиент

$$I' = \frac{h'}{l_\phi},$$

где величину l_ϕ , условно, идя на преуменьшение фильтрационной части расхода, можно в первом приближении принять той же, что и для наибольшего распространения отсыпи при третьей ее конфигурации.

Найдя величину фильтрационного расхода q''_ϕ , так же, как это было изложено для случая расчета третьей конфигурации, и сравнив ее с q'_ϕ , решаем вопрос о не-

обходимости (или отсутствия таковой) повторного пересчета в целях второго приближения. Когда вопрос с фильтрационной частью расхода решен, находим уклон крутой части низового откоса по формуле

$$i = \frac{n^2 \cdot q^2}{\frac{10}{h_0^3}}$$

равно как и длину водосливного участка

$$l_0 = \sim 3 \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}}$$

Точку пересечения более крутой части низового откоса с полученным ранее проще всего определять графически. Предел крутизны откоса, полученного из расчета, следует назначить по соображению с углом естественного откоса отсыпи.

Прежде чем обратиться к последнему этапу сооружения, отметим необходимость увязки между расчетным профилем и гидравлическими данными при третьей и четвертой конфигурациях. Эта увязка может быть сделана, например, следующим образом. Получив значение Г. В. Б., при котором расчет по схеме третьей конфигурации дает максимальную величину l_i , следует для этого же Г. В. Б. сделать расчет по схеме четвертой конфигурации, который, как это можно показать, дает несколько большие, чем в предыдущем случае, размеры наброски. Этот новый расчетный профиль осторожней принять за исходный для расчета последующих очертаний четвертой конфигурации.

Наконец, гидравлический расчет в последний момент сооружения наброски в текущую воду, в момент выхода гребня ее из воды—сводится к нахождению Г. В. Б. и может быть, при отсутствии водосброса, решен помощью следующих двух уравнений:

$$q_{\phi} = \mathfrak{B} \cdot H = C_0 p \sqrt{DI} \cdot [(\nabla \text{ Г. В. Б.}) - (\nabla \text{ дна})]$$

$$I = \frac{(\text{Г. В. Б.}) - (\text{Г. Н. Б.})}{l_{\phi}}$$

из которых могут быть определены неизвестные I и Г. В. Б. При наличии бокового водосброса решение задачи сводится к подбору.

§ 10. Вспомогательная таблица и графики. Для облегчения расчетов и экономии времени при производстве таковых составлены таблица и восемь графиков.¹

Таблица, приводимая ниже, служит для определения некоторых, наиболее важных величин, входящих в расчеты и зависящих, в основном, от диаметра камня; эти величины вычислены при значениях расчетных коэффициентов, рекомендованных в §§ 3—4.

ТАБЛИЦА 1.

Наименование величины	Значение при диаметре камня в метрах (Дм.)				Формула, по которой вычислена величина	Принятое значение коэффициентов, входящих в формулу.
	0,15	0,20	0,25	0,30		
v_{\max} м/сек	2,62	3,02	3,37	3,69	$v_{\max} = Y_b \Pi \sqrt{D}$	$Y_b = 1,20;$ $\Pi = \sqrt{2g \frac{\Delta_1 - \Delta}{\Delta}}$
v_{\min} м/сек	1,88	2,17	2,42	2,65	$v_{\min} = Y_c \Pi \sqrt{D}$	$Y_c = 0,86$ $\Delta_1 = 2,60 \frac{m}{m^3}$ $\Delta = 1,00$

¹ Последние составлены под моим руководством старшим техником лаборатории К. В. Бураковским, проявившим при этом много ценной инициативы и добросовестности.

Наименование величины	Значение при диаметре камня в метрах (D м.)				Формула, по кото- рой вычислена величина	Принятое значение коэффициентов, вхо- дящих в формулу
	0,15	0,20	0,25	0,30		
$q_{\text{пр}} \text{ м}^2/\text{сек}$ (для v_{max})	1,84	2,81	3,91	5,15	$\frac{v_{\text{max}}^3}{g}$	$g = 9,81 \text{ м/сек}$
$q_{\text{пр}} \text{ м}^2/\text{сек}$ (для v_{min})	0,67	1,04	1,44	1,90	$\frac{v_{\text{min}}^3}{g}$	
$\frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{v_{\text{min}}^2}{2g}$ метры	0,21	0,28	0,35	0,42	$\frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{v_{\text{min}}^2}{2g}$	$\varphi = 0,92$
$\frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{v_{\text{max}}^2}{2g}$ метры	0,41	0,55	0,68	0,82	$\frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{v_{\text{max}}^2}{2g}$	
$\frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{v_{\text{max}}^2}{2g}$ метры	0,35	0,46	0,58	0,69	$\frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{v_{\text{max}}^2}{2g}$	$\varphi = 1,00$
$n^2 v_{\text{max}}^{10/3}$	0,062	0,099	0,144	0,193	$n^2 \cdot v_{\text{max}}^{10/3}$	$n = 0,05$

Отметим, что в случае, если в расчете принят какой-либо иной, отличный от приведенных в таблице, диаметр камня ни интерполяция внутри данных таблицы, ни тем более экстраполяция, не рекомендуются. В таких случаях весьма полезно вычислить основные величины по исходным формулам, так как точность этих величин существенно влияет на точность результата. К непосредственному вычислению по формулам надлежит обратиться и в случае принятия по тем или иным соображениям иных, чем приведенные в таблице, расчетных коэффициентов.

График № 1, составленный в логарифмическом масштабе, служит для ориентировочного определения веса камня, скоростей v_{min} и v_{max} по заданному диаметру D камня и объемному весу его Δ_1 (при $Y_s = 1,20$ и $Y_c = 0,86$). При окончательных расчетах значение v_{max} должно быть определено аналитически; для имеющих в таблице диаметров — может быть взято из таблицы.

График № 2 служит для определения перепада на затопленном водосливе с широким порогом (будь то отсыпь в стадии водослива или водосливный участок последующей стадии) — по заданной скорости v_{max} или v_{min} при $\varphi = 0,92$; при пренебрежении скоростью подхода на шкале v_0 берется отсчет равный нулю. Как то пояснено в § 7, при данной скорости (v_{max} или v_{min}) водослив действительно затоплен только при $q > q_{\text{пр}}$, в чем и надлежит убедиться собственно перед приступом к пользованию графиком, путем сравнения указанных двух расходов.

Для некоторого упрощения этого сравнения, равно как и для напоминания о необходимости производить таковое, на левой стороне средней шкалы нанесены величины $q_{\text{пр}}$, отвечающие скоростям v_{max} и v_{min} ; если переливающийся через водослив расход $q < q_{\text{пр}}$, водослив не затоплен и надлежит обратиться к графику № 3.

График № 3 предназначен для определения полного перепада Z_0 на незатопленном водосливе с широким порогом (будь то отсыпь в стадии водослива или водосливный участок стадии быстротока) — по заданному расходу q (меньшему $q_{\text{пр}}$) и скорости v_{max} или v_{min} .

Точность графика несколько недостаточна лишь при расходах, близких к $q_{\text{пр}}$. Последняя величина нанесена на левой стороне правой шкалы; очевидно при $q > q_{\text{пр}}$ водослив затоплен и пользование графиком № 3 невозможно.

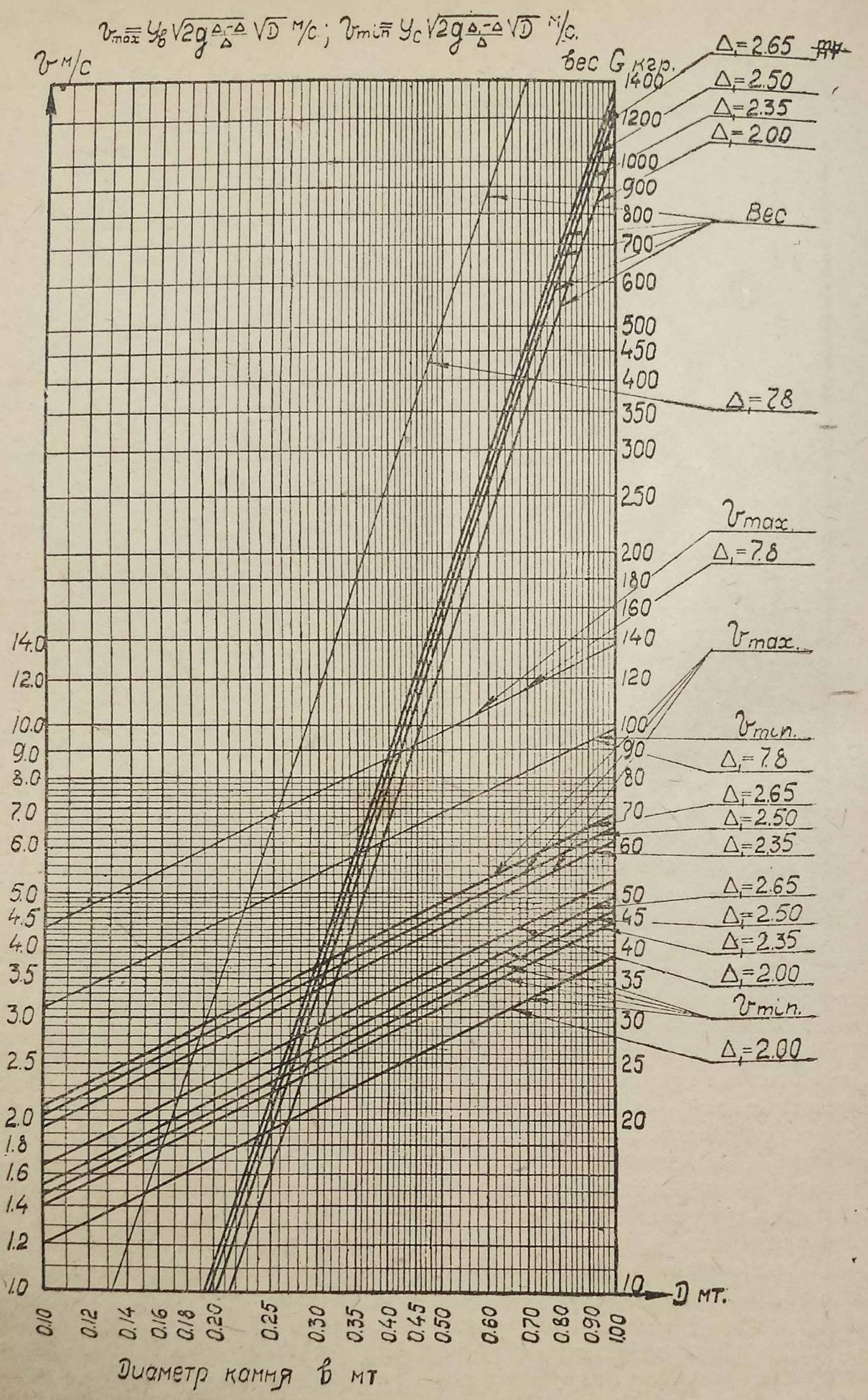


График № 1 для определения веса камня, скоростей v_{min} и v_{max} — по заданному диаметру камня D и объемному весу его Δ , (при $Y_c = 0,86$ и $Y_b = 1,20$)

$$Z = \frac{1}{\varphi^2} \frac{v_{\min}^{2\max}}{2g} - \frac{v_0^2}{2g} \text{ м (при } \varphi = 0,92\text{)}.$$

Перепад Z м.

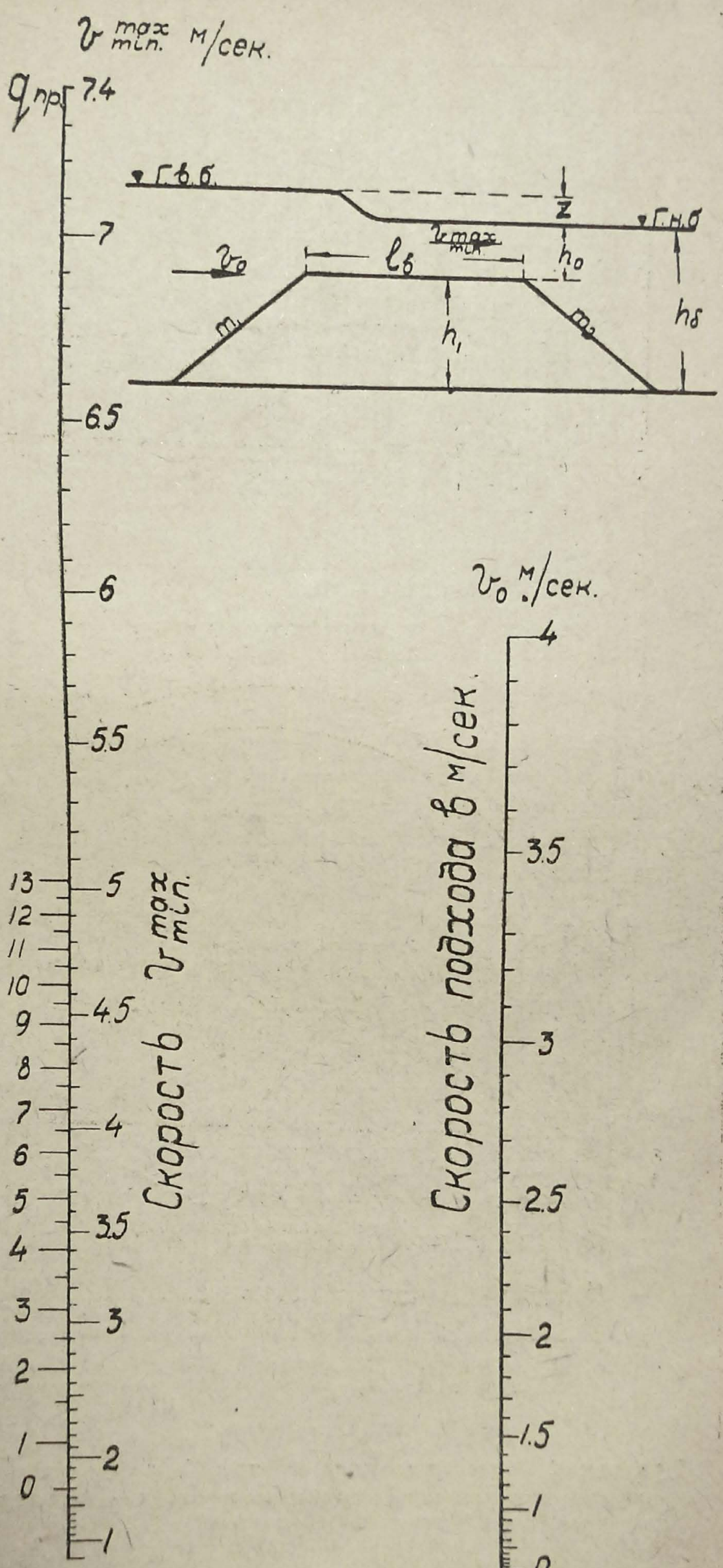
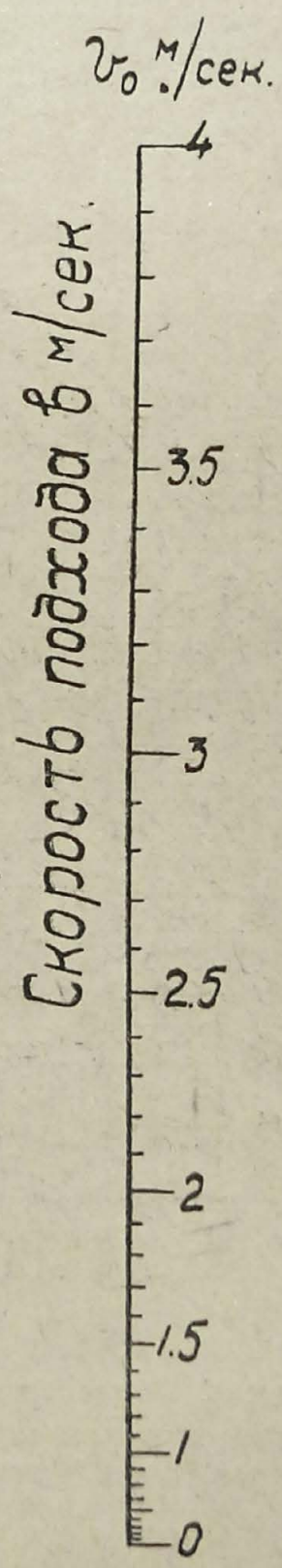
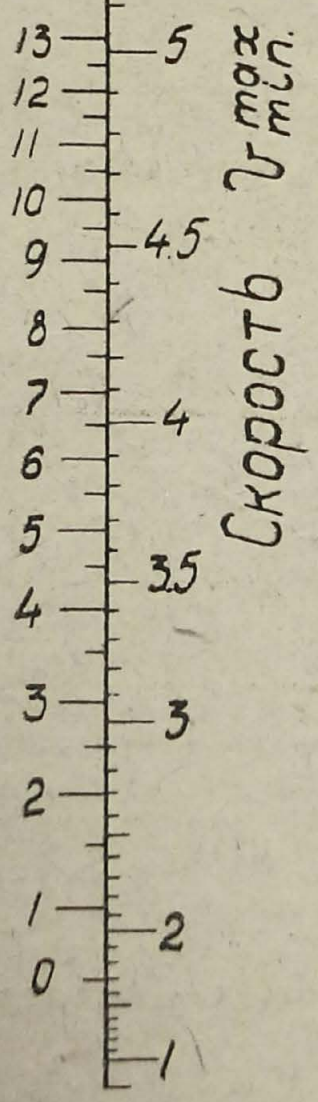
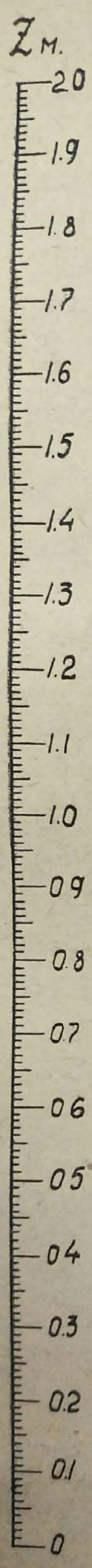


График № 2 для определения перепада Z на затопленном водосливе с широким порогом по заданной скорости v_{\max} или v_{\min} при $\varphi = 0,92$.

Схема Б ($q < q_{пр}$ водослив не затоплен)

$$Z_0 = \left(\frac{q}{M}\right)^{\frac{2}{3}} - \frac{q}{v_{\min}^{\max}} M \text{ (при } M = 1,55 \text{ и } 1,72).$$

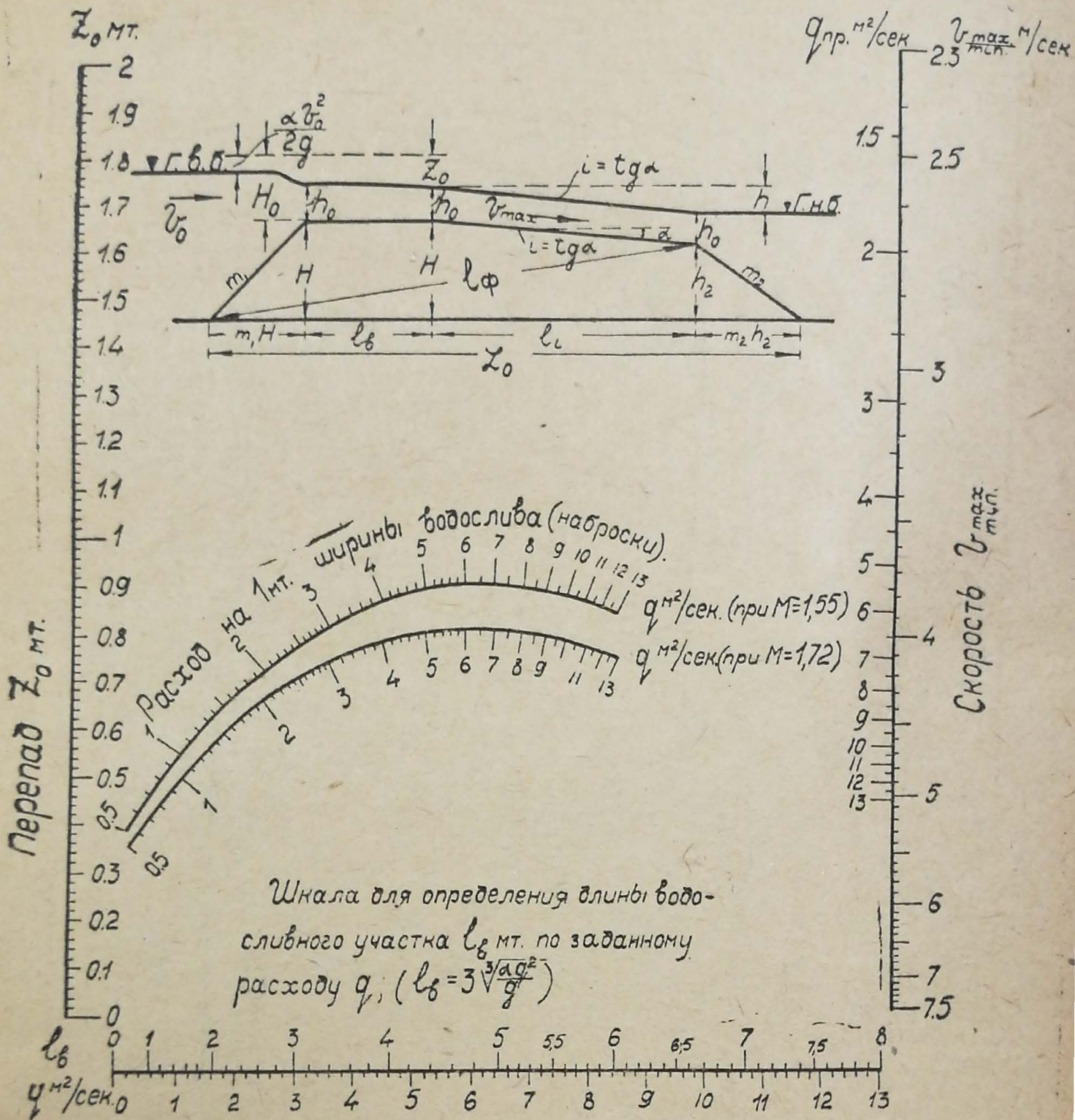
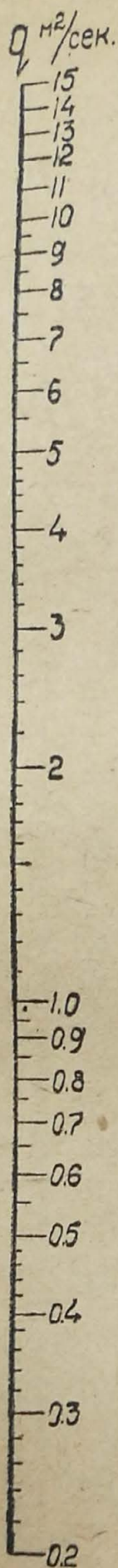


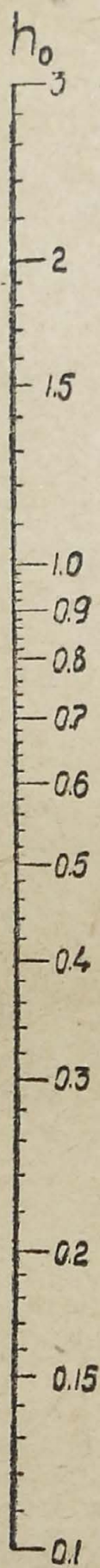
График № 3 для определения перепада Z_0 на незатопленном водосливе с широким порогом по заданному расходу q и скорости v_{\max} или v_{\min} при $M = 1,55$ и $1,72$.

$$i = \frac{n^2 q^2}{h_0^{10/3}}$$

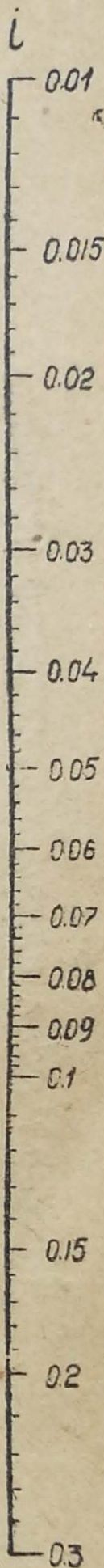
Расход на 1 м. ширины быстротока (наброски).



Глубина равномерного режима на быстротоке h_0



Уклон быстротока i



Шкала для определения уклона быстротока i по заданному q , при $n = 0.05$ и $U_{max} = 3.37$ м. ($D = 0.25$ м.)

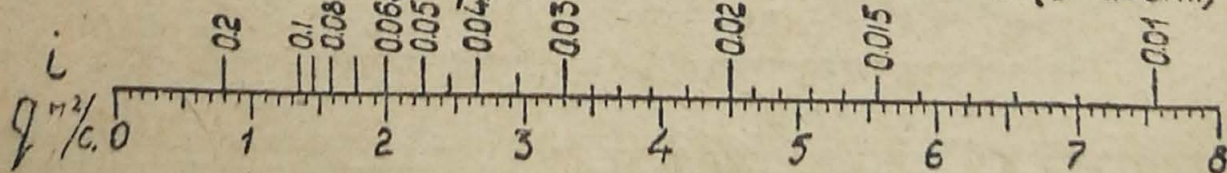


График № 4 для определения уклона быстротока i по заданным q м²/сек и h_0 м (при $n = 0,05$ и расчетах по формуле Маннинга).

$q \text{ м}^3/\text{сек}$

$$l_i = \frac{q^{4/3} h}{n^2 v_{\max}^{10/3}}$$

для камня $D = 0.25 \text{ м.}$

$h \text{ м.}$

Расход на 1 м. ширины быстротока (наброски).

Длина быстротока $l_i \text{ м.}$

Падение напора на быстротоке $h \text{ м.}$

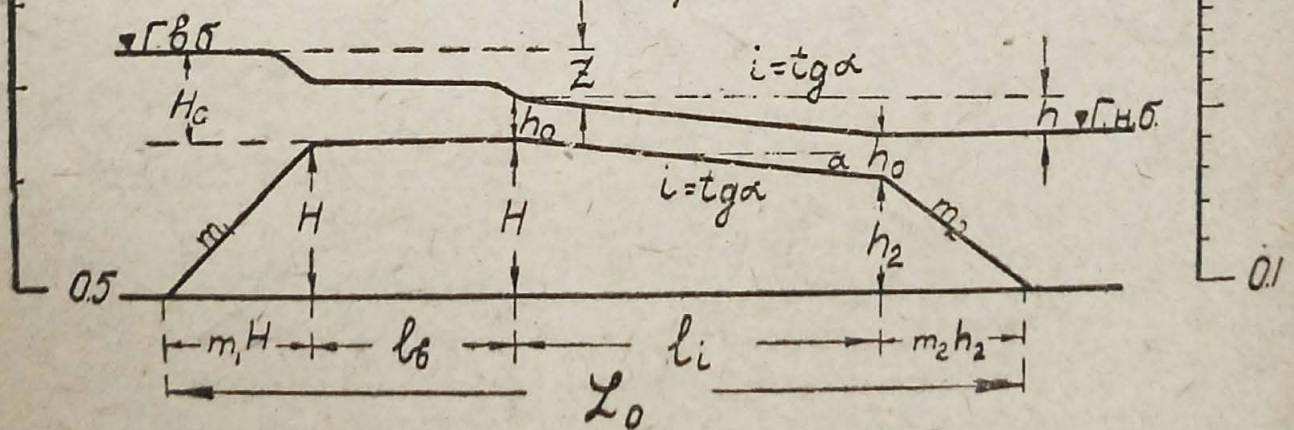
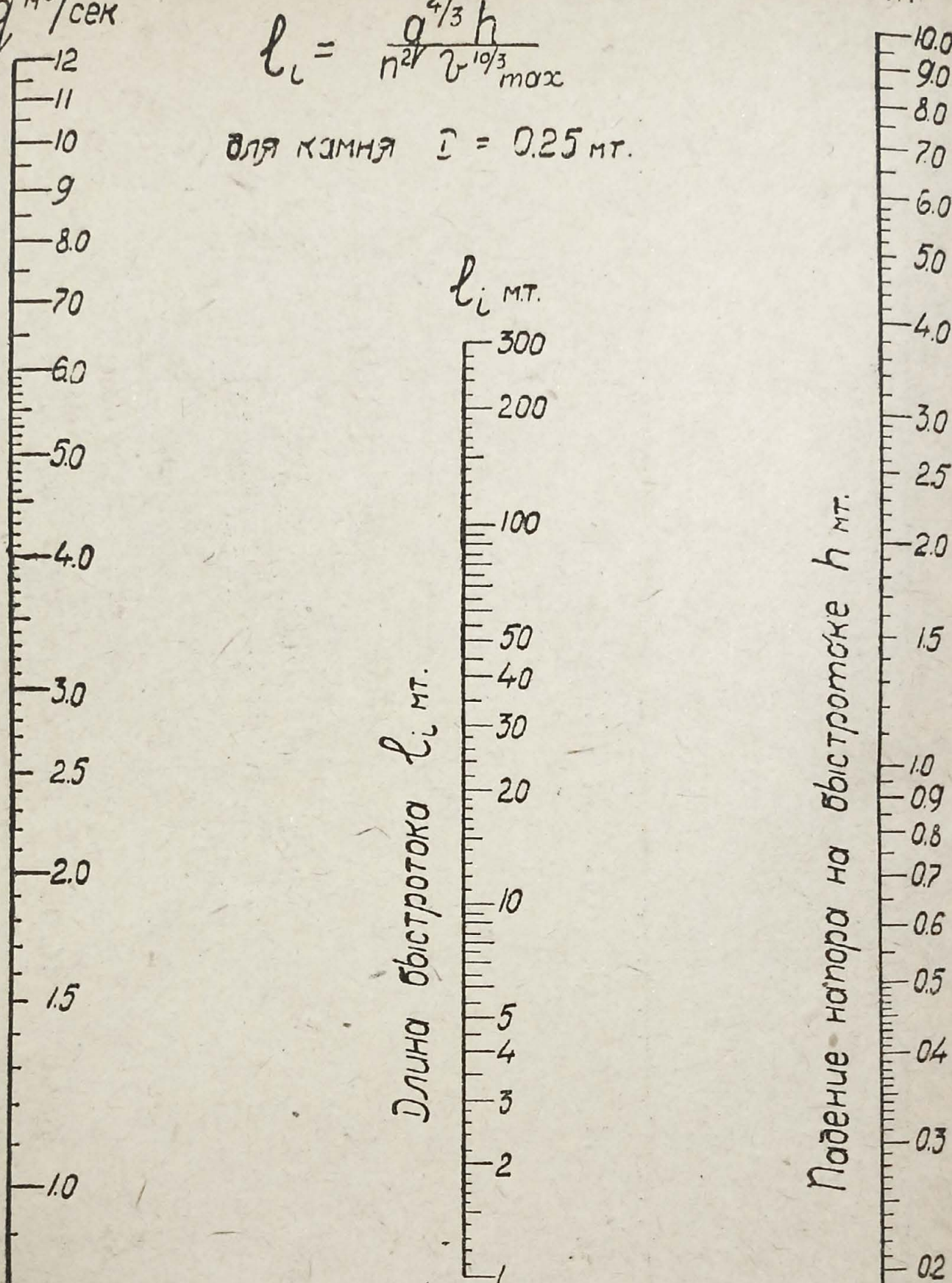
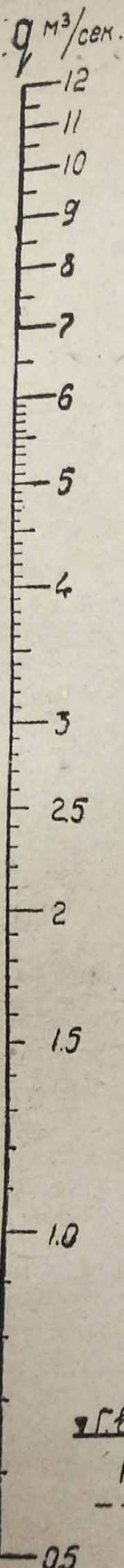


График № 5 для определения длины быстротока $l_i \text{ м}$ по заданному падению напора на быстротоке $h \text{ м}$ и расходу, идущему вверх наброски $q \text{ м}^3/\text{сек}$ при коэффициенте шероховатости $n = 0,05$ (вычисление по Маннингу) и скорости воды на быстротоке $v_{\max} = 3,37 \text{ м/сек}$, предельной для камня $D = 0,25 \text{ м}$ ($\Delta_1 = 2,60$).

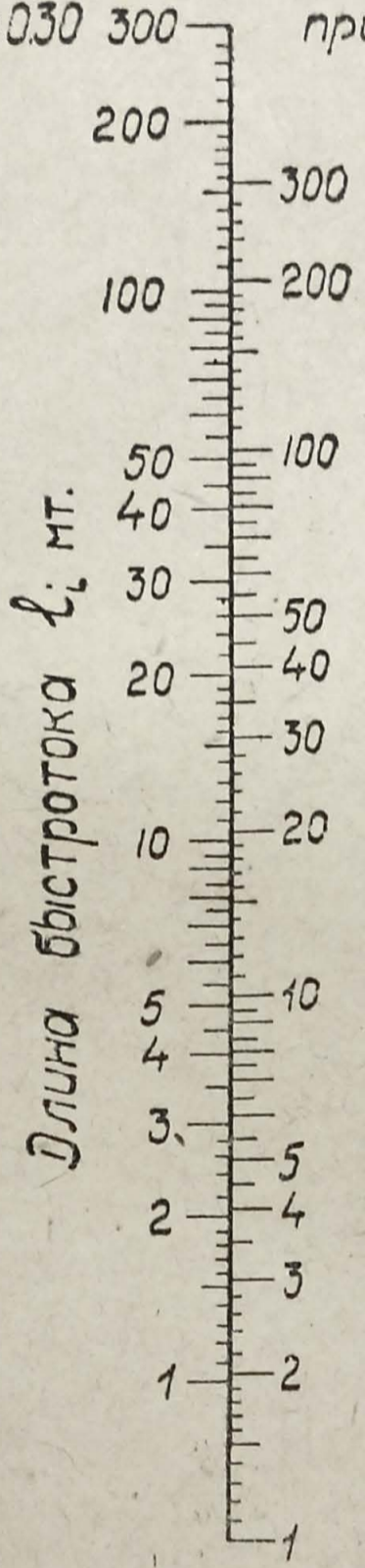
Расход на 1 м ширины быстротока (наброски)



$$l_i = \frac{q^{4/3} h}{n^2 v_{max}^{10/3}}$$

l_i мт.

при $D=0.30$ 300 при $D=0.20$



Падение напора на быстротоке h мт.

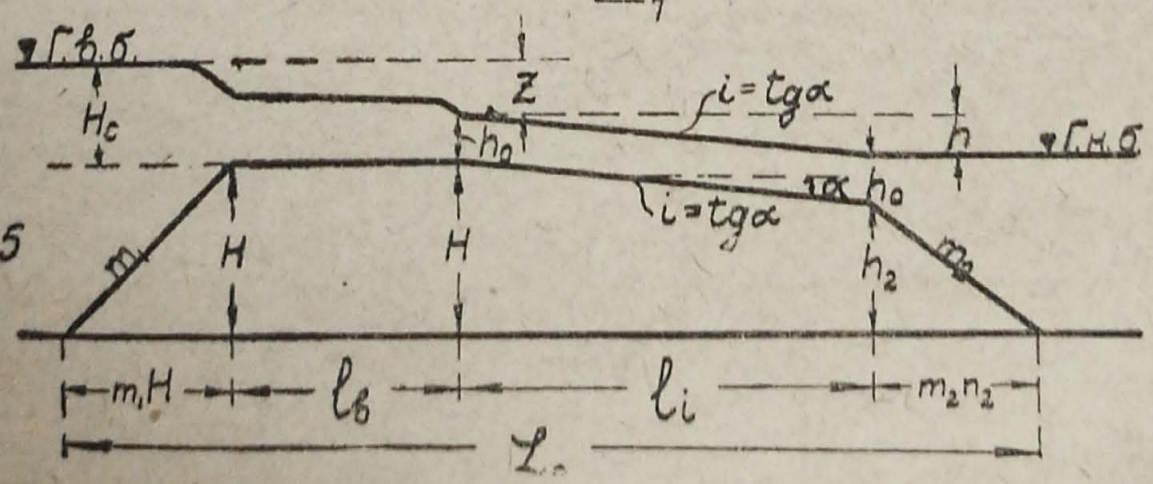
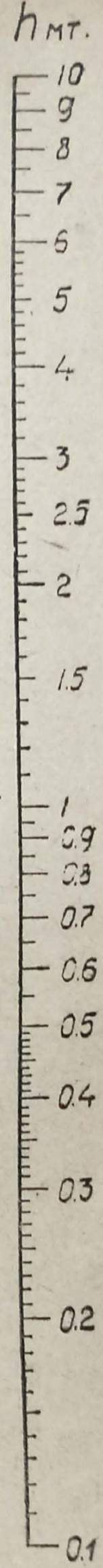


График 5-а для определения длины быстротока l_i м по заданному падению напора на быстротоке h м и расходу, идущему вверх наброски q м²/сек при коэффициенте шероховатости $n = 0,05$ (вычисления по Маннингу) и скоростях воды на быстротоке $v_{max} = 3,69$ м/сек; $v_{max} = 3,02$ м/сек.

Диаметр камня $D = 25 \text{ см}$

$$q_{\text{ф}} = C_0 \cdot p \cdot \sqrt{DI} \cdot H, \text{ где}$$

$$\text{(для размеров в см)} C_0 = 20 - \frac{14}{D_{\text{см}}} = 19,4; \quad p = 0,37.$$

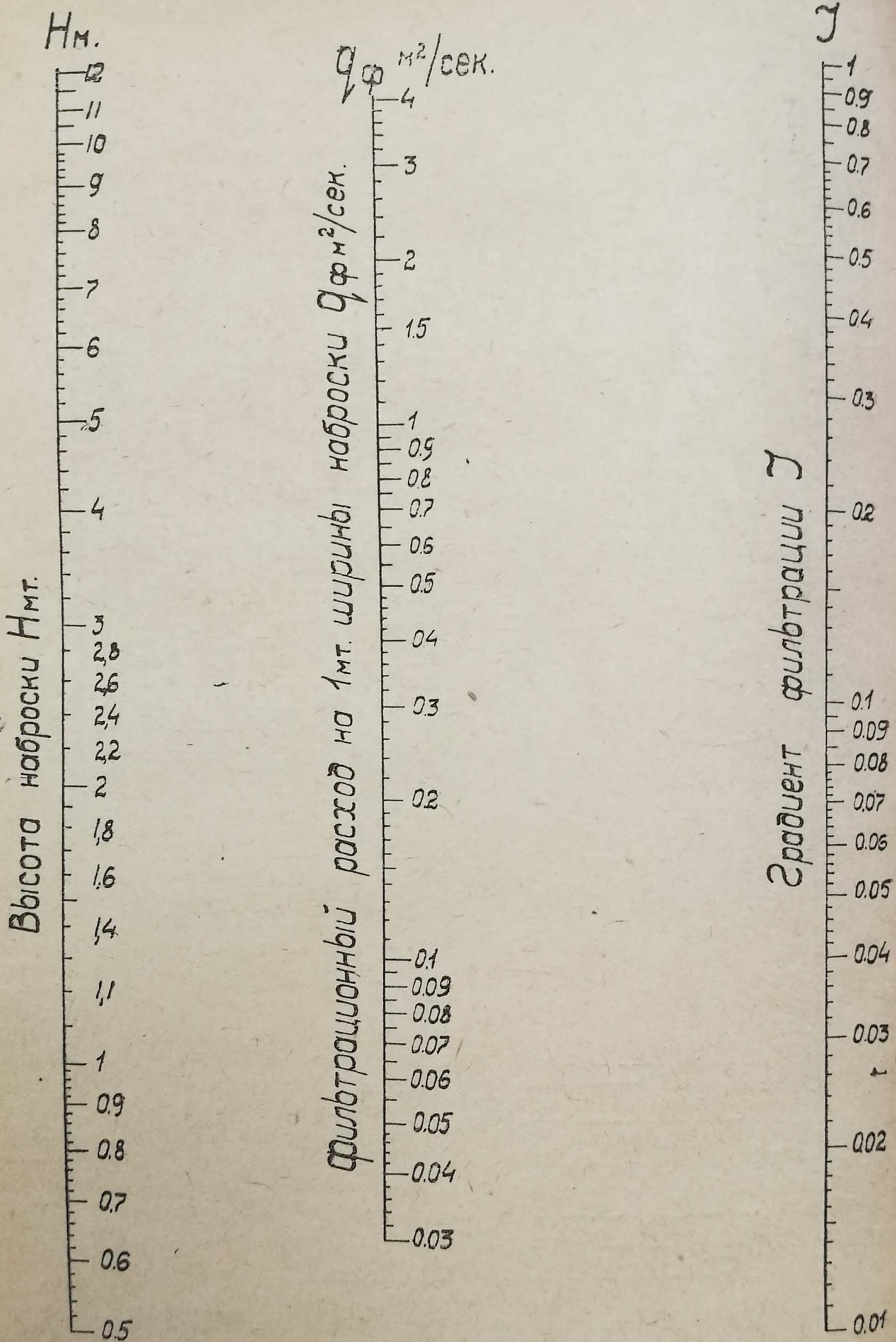


График 6 для определения фильтрационного расхода $q_{\text{ф}}$, м²/сек по заданному градиенту фильтрации J и высоте наброски H м. Составлен для однородного камня диаметром 0,25 м.

График снабжен дополнительными функциональными шкалами для определения l_0 и H_0 по q .

График № 4 составлен для определения уклона низового откоса i по заданным q м²/сек и h м при $n = 0,05$. Он применим для четвертой конфигурации наброски; для третьей — точность его не вполне достаточна. Внизу графика функциональная шкала для случая $D = 0,25$ м.

График № 5 построен для определения длины быстротока l_i по известному падению на нем напора h и расходу, идущему вверх наброски q м²/сек и следующим данным: коэффициенте шероховатости $n = 0,05$; скорости воды на быстротоке $v_{\max} = 3,37$ м/сек (предельной для камня $D = 0,25$ м с удельным весом 2,60).

$$v = C_0 \cdot p \cdot \sqrt{DI}; \quad C_0 = 20 - \frac{14}{D_{\text{см}}}$$

График, будучи весьма полезен для быстрых предварительных прикидок общей протяженности отсыпи, одновременно является достаточно точным для окончательных расчетов.

График № 5-а аналогичен графику 5, но построен для следующих двух размеров камня: $D_1 = 0,20$ м и $D_2 = 0,30$ м.

График № 6 может быть использован для определения фильтрационного расхода $q_{\text{ф}}$ м²/сек по заданному градиенту фильтрации I и высоте наброски H м, составленной из однородного камня диаметром 0,25 м.

График № 7 дает скорость фильтрации v м/сек в функции от диаметра камня D м и градиента фильтрации I , для однородной отсыпи по розностию $p = 0,37$.

При сопоставлении данных расчета и действительности, наиболее существенным является сопоставить размеры наброски (в первую очередь L_0), получаемые расчетом с таковыми действительности, затем величины расхода, фильтрующегося в теле плотины.

Далее, проверить те элементы, которые были введены в расчет, исходя из лабораторных опытов (главы I—IV „Постройки...“), соображений о подобии и правилах пересчета на натуру (глава V „Постройки...“), а именно:

- предельные значения скоростей, сдвигающих камень (v_{\max});
- величины коэффициента расходов водосливного участка наброски (M);
- величины коэффициента шероховатости поверхности наброски (n).

В следующих параграфах, на материале строительного опыта двух, во многом различных между собой, строек — Нивастроя (установка 2) и Свирьстроя (установка 3) мы произведем интересующее нас сопоставление расчета и действительности¹, а также используем некоторые указания практического опыта.

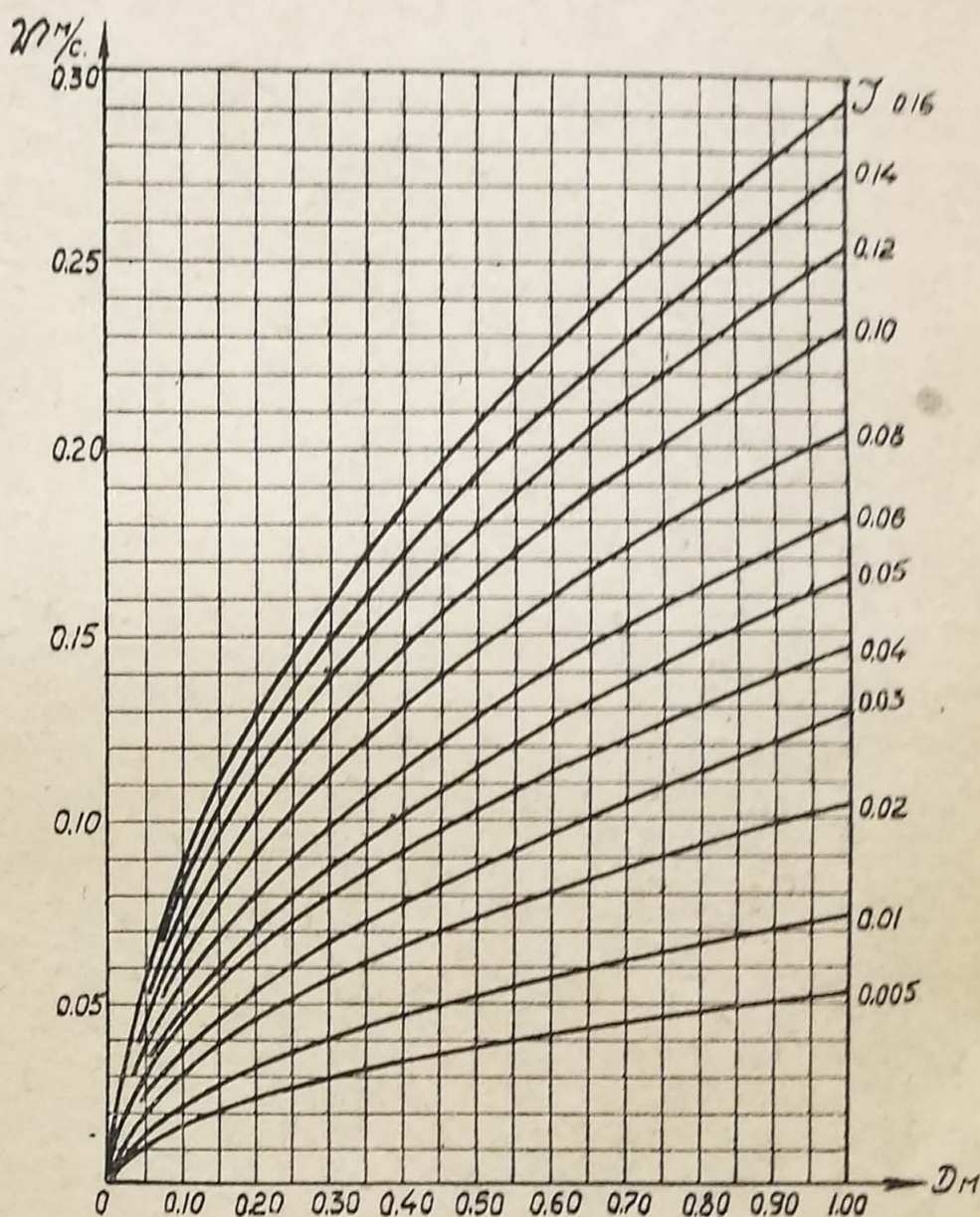


График № 7 для определения скорости фильтрации v м/сек по заданному диаметру камня D и градиенту фильтрации I .

¹ Существенную помощь при указанном сопоставлении, оказал работавший под моим руководством инженер лаборатории А. В. Коробочкин — талантливый молодой специалист.

§ 11. Наброска камня в текущую воду на Нивастрое. В результате прорыва рекой Нивой ряжевой перемычки Строительства (см. фиг. 13), в образованный рекой „прорыв“ — шириной поверху в свету — 24,5 м — устремилась почти вся река, создав (размыв) на участке „прорыва“ — глубины (до начала наброски) — около четырех метров.

Со специально затем построенного моста (см. фиг. 14), наброской камня в текущую воду строители, одновременно с сооружением выше по течению новой линии верхней перемычки — перекрывали поток, стремясь создать подпор, достаточный для отвода реки через боковой водосброс.

В процессе первого этапа наброски (7/III — 11/III 1933 г.) производились некоторые измерения. Наиболее полные и обстоятельные из них были выполнены 11/III — 12/III 1933 г., когда, в связи с сильным разносом камня и наступившим медленным повышением верхнего бьефа (столь характерными и резкими после стадии водослива явлениями, на которые мы имели случай обратить внимание на стр. 16—17 „Постройки...“) работы по наброске были временно приостановлены.² К этому моменту —

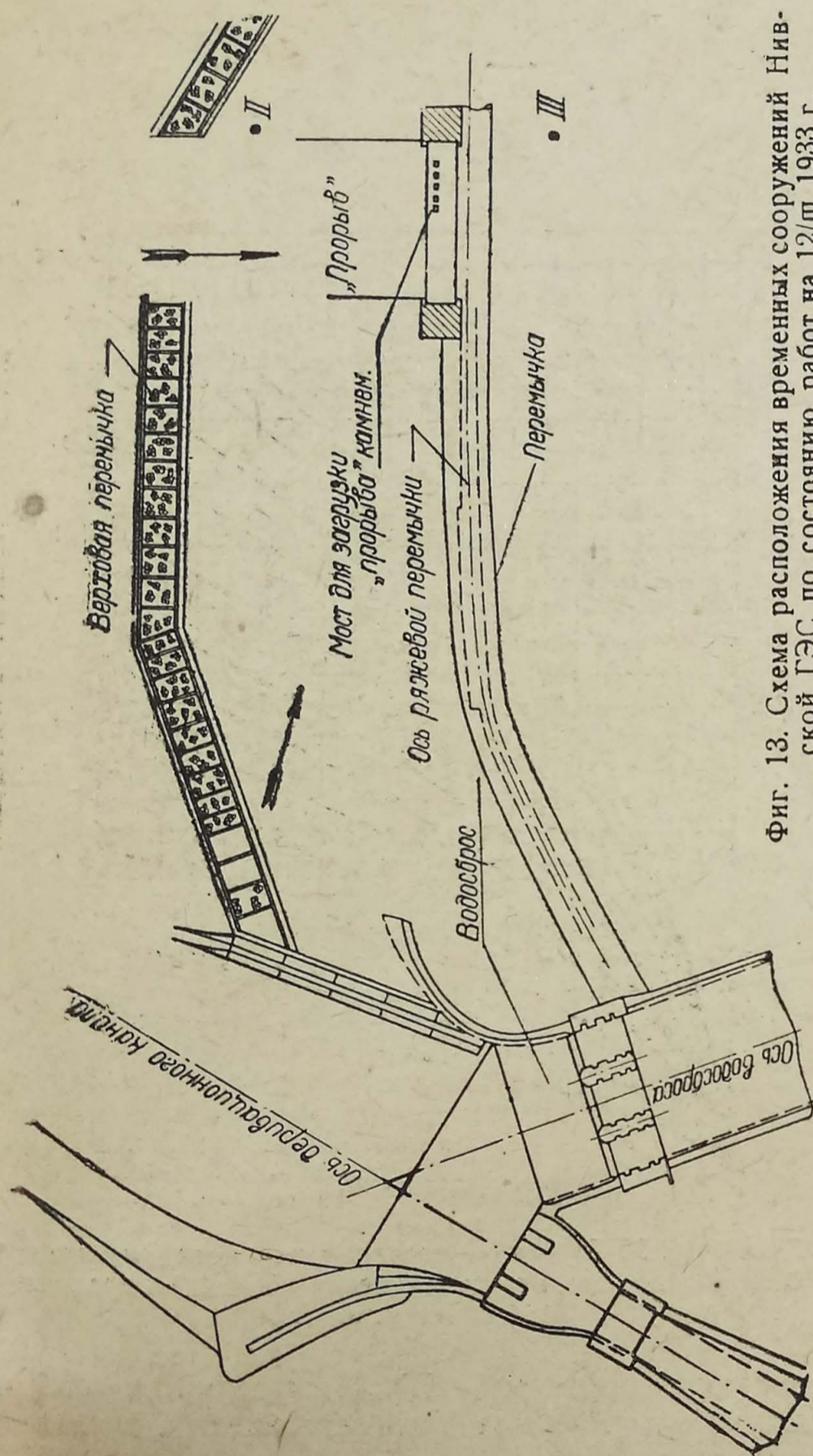
объем камня наброски составлял 1156 м³ (А).

Причем наброшенный камень, не содержа в себе мелких фракций, обладал довольно резкими очертаниями и, являясь достаточно однородным по размерам и прочным, может быть в среднем охарактеризован диаметром, приведенным к шару ~ 0,25, при удельном весе — 2,60, что дает средний вес отдельных камней ~ 20 кг (см. также вид отдельных камней на левой стороне фиг. 14).

Перейдем к выяснению величин основных гидравлических элементов, характеризовавших в этот момент поток.

¹ В бытовых условиях ширина р. Нивы 100—150 м, при средней глубине около одного метра.

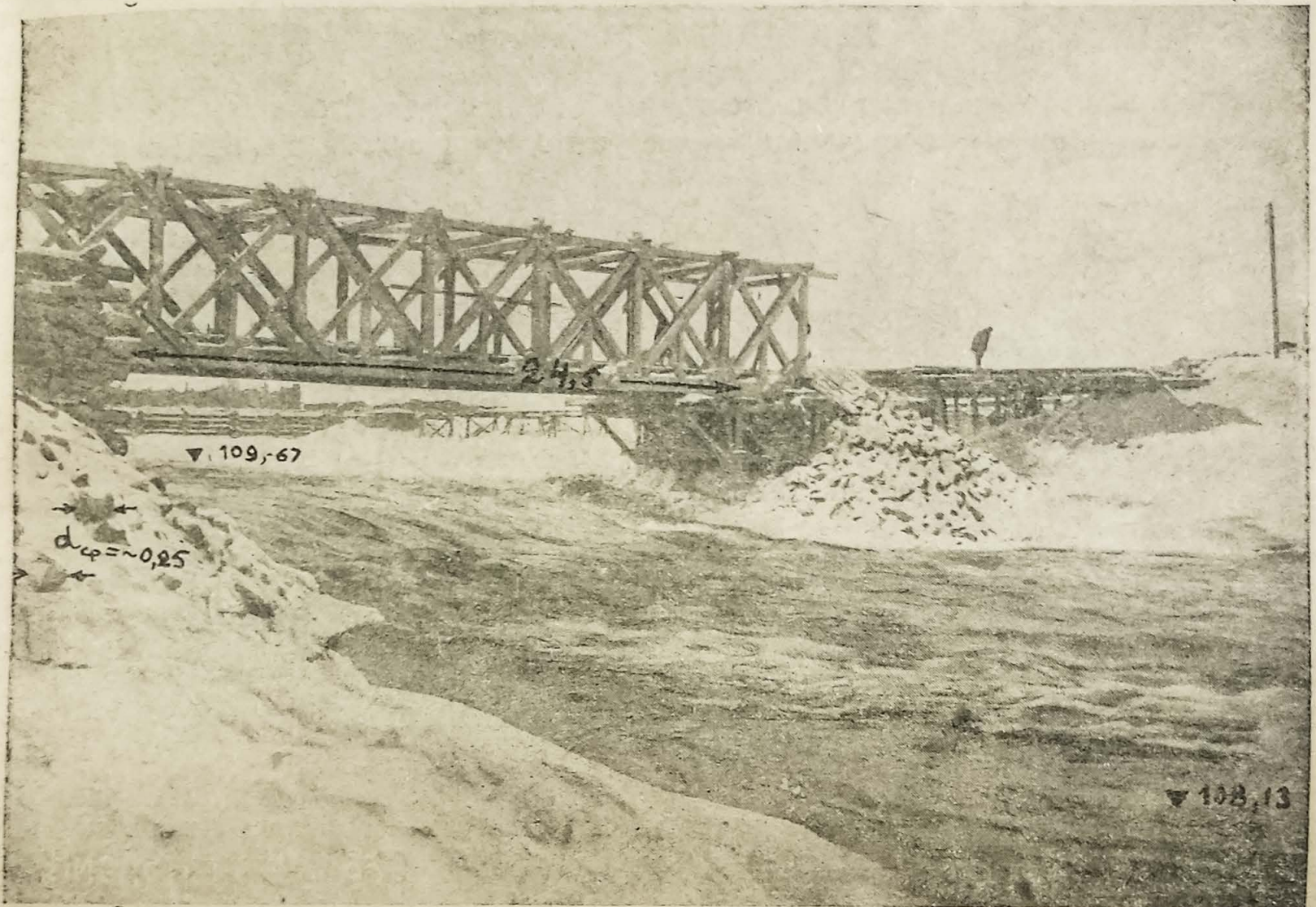
² Непосредственно вслед за этим моментом была начата очистка от льда как самого водосброса, так и подводящего к нему канала, что позволило пустить значительную часть расхода через водосброс.



Фиг. 13. Схема расположения временных сооружений Нивской ГЭС по состоянию работ на 12/III 1933 г.

Наиболее близкий к указанному периоду, измеренный 17/III 1933 г. в створе водомерного поста у Плесозера — суммарный расход реки составлял $83 \text{ м}^3/\text{сек}$. (Б)

Как это удалось установить по показаниям водомерных реек №№ 8 и 9 (см. табл. 2), расположенных в нижнем бьефе вне влияния „прорыва“, этот расход был весьма близок и может быть принят практически совпадающим с тем, который имел место в предшествующий период, когда производилась наброска (7/III — 11/III 1933 г.).



Фиг. 14. Вид со стороны нижнего бьефа на „прорыв“ и мост для заброски его камнем (17/III 1933 года).

ТАБЛИЦА 2

показаний водомерных реек, характеризующая постоянство расхода в период 7/III—17/III 1933 г.

Дата 1933 г.	Отметки водной поверхности по водомерным рейкам		Дата 1933 г.	Отметки водной поверхности по водомерным рейкам	
	№ 8	№ 9		№ 8	№ 9
7/III	108,19	107,53	13/III	108,18	107,55
8/III	108,19	107,53	14/III	108,18	107,54
9/III	108,20	107,52	15/III	108,16	107,52
10/III	108,20	107,52	16/III	108,16	107,54
11/III	108,18	107,51	17/III	108,18	107,55
12/III	108,18	107,54			

Величина расхода, шедшего при этом через боковой водосброс, по соображению с произведенными там промерами, может быть принята ¹ равной $7 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Таким образом

$$82 - 7 = 76 \text{ м}^3/\text{сек}$$

(В)

¹ По данным инженера Нивастроя Н. Г. Кулагина. Под руководством последнего, по заданию НИИГ производились все описанные в настоящем параграфе измерения.

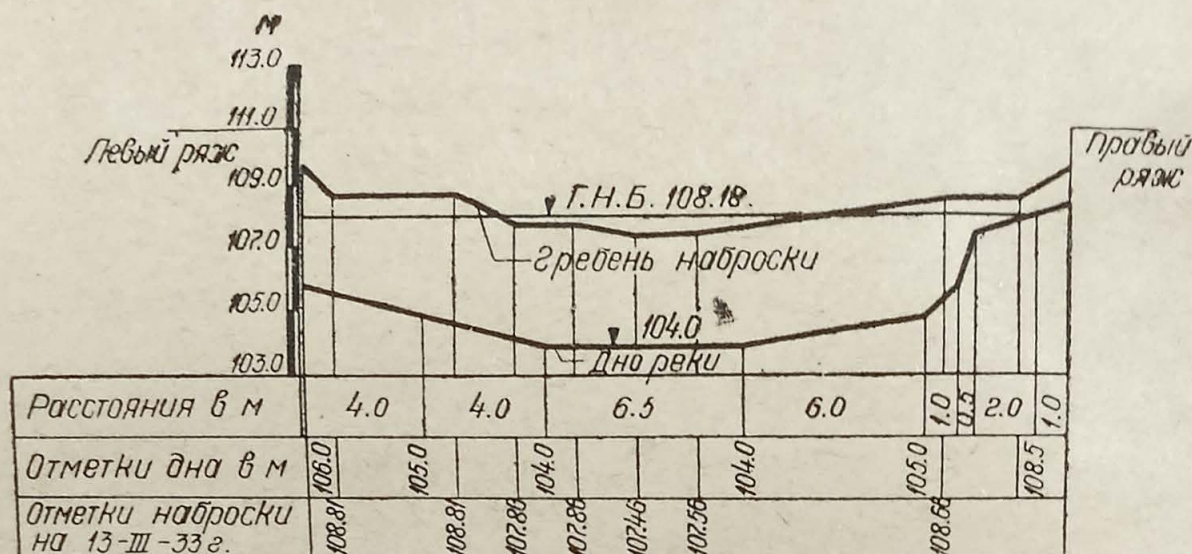
составлял расход, проходящий над и, отчасти, сквозь наброску. В дальнейшем мы сможем еще раз проконтролировать эту цифру.

Промеры гребня наброски и глубин воды на ней, равно и скоростей (батометром проф. Глушкова), произведенные 11/III по оси моста, являются надежными данными и сведены в таблицу 3; продольный по длине фронта наброски профиль, измеренный в створе по низовой стороне моста, показан на фиг. 15.

На основе этих данных: расход, проходивший поверх наброски над гребнем ее:

$$23,8 \times 3,07 = 73 \text{ м}^3/\text{сек.} \quad (\Gamma)$$

Сравнение последней величины с таковой (В), с одной стороны, подтверждает ранее полученную цифру, а с другой, — дает некоторые основания предполагать, что



Фиг. 15. Нива II. Продольный профиль по длине фронта наброски, измеренный в створе по низовой стороне моста.

в этой стадии сооружения та часть расхода, которая фильтровалась сквозь наброску, была незначительной; так, из данных пунктов (В) и (Г) примерная величина фильтрационной части расхода:

$$76 - 72 = 2 \text{ м}^3/\text{сек.} \quad (\Delta)$$

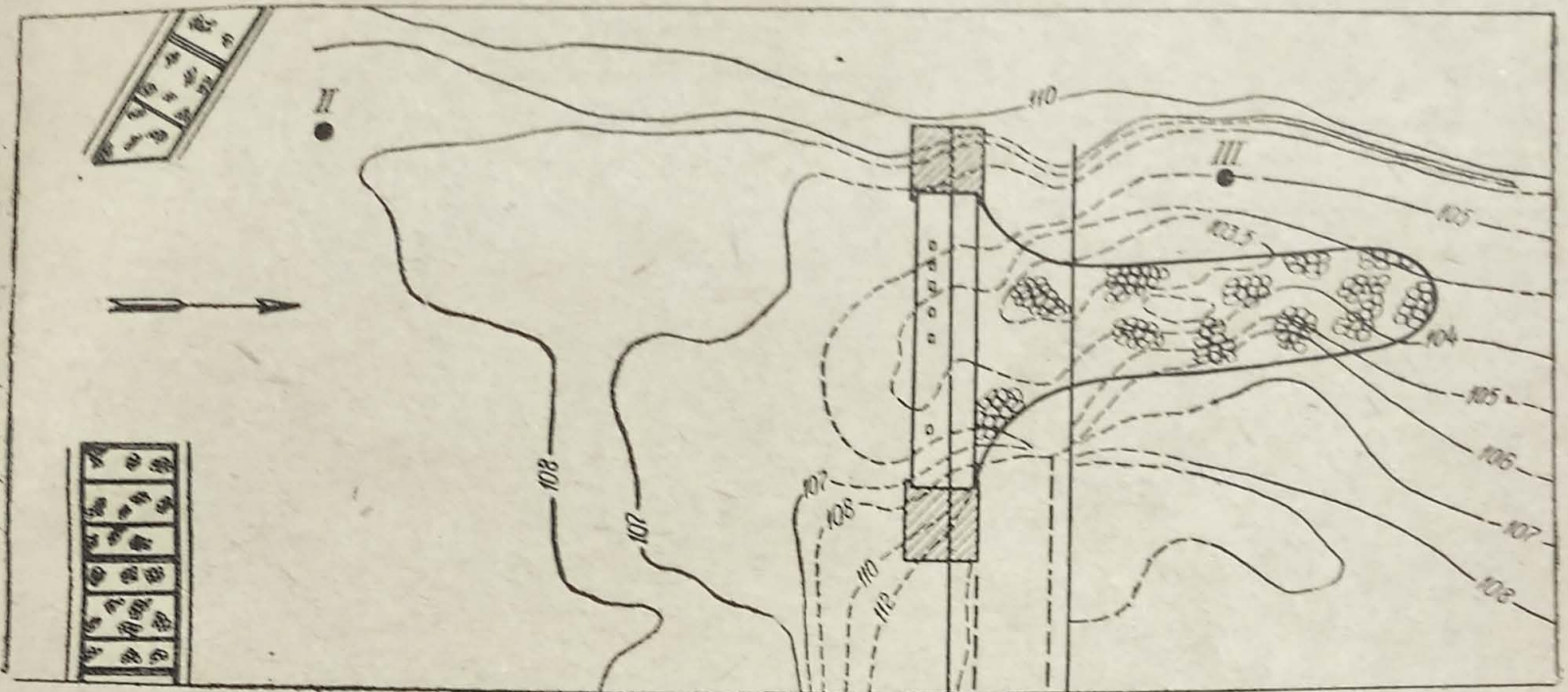
Практически она, может быть, лежит в пределах точности полевых измерений расхода.

ТАБЛИЦА 3

глубины переливающегося через наброску слоя воды и скоростей, измеренных 11/III по створу I—VI, совпадающему с продольной (поперек течения) осью моста.

№№ точек	Глубина слоя воды, м	Величина измеренных батометром скоростей, м/сек				У дна	Примечание
		На глубине 15 см от поверхности					
		изм. 1	изм. 2	изм. 3	средн.		
1	—	2,20	2,18	2,07	2,15	—	Площадь живого сечения 23,8 м ² . Средняя по сечению скорость 3,07 м/сек, $h_{кр} \sim = 1,35$.
2	0,55	2,28	2,34	2,36	2,33	2,81	
3	1,85	2,38	2,70	2,85	2,64	3,32	
4	2,00	3,04	3,20	—	3,12	3,32	
5	1,35	3,00	3,14	3,32	3,15	3,54	
6	0,65	3,28	3,40	3,48	3,39	3,68	
Среднее	1,28	2,70	2,83	2,81	2,80	3,34	

Отметки свободной поверхности измерялись во многих точках. Для последующих целей, наибольший интерес представляют данные поста II, расположенного (см. схему на фиг. 16) вне влияния „прорыва“ в верхнем бьефе; затем измерения, произведенные с моста, позволяющие в некоторой мере судить о величине перепада на водосливном участке — (см. фиг. 17, на которой отчетливо виден этот перепад, а также фиг. 14), и, наконец, данные постов III и № 8, расположенных в нижнем бьефе. Перечисленные данные сведены в таблицу 4.



Фиг. 16. Схема расположения в плане: каменной наброски в „прорыве“ и водомерных реек.

ТАБЛИЦА 4.

Отметки водной поверхности и величины перепадов.

Дата 1933 г.	Отметки водной поверхности				Разность горизонтов в м			Примечание
	II, Г. В. Б.	Створ моста	Рейка III	№ 8 Г. Н. Б.	ГВБ — горизонт у моста	горизонт у моста ГНБ	ГВБ — ГНБ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
В среднем с 28/II—7/III	109,10	—	108,33	108,21	—	—	0,89	До начала наброски
7/III	109,13	—	108,27	108,19	—	—	0,94	Наброска начата
8/III	109,09	108,61	108,29	108,19	0,48	0,42	0,90	
9/III	109,27	108,76	108,17	108,20	0,51	0,56	1,07	
10/III	109,26	108,96	108,19	108,20	0,30	0,76	1,06	
11/III	109,36	109,16	108,12	108,18	0,20	0,98	1,18	
12/III	109,67	109,16	108,13	108,18	0,51	0,98	1,49	Наброска закончена

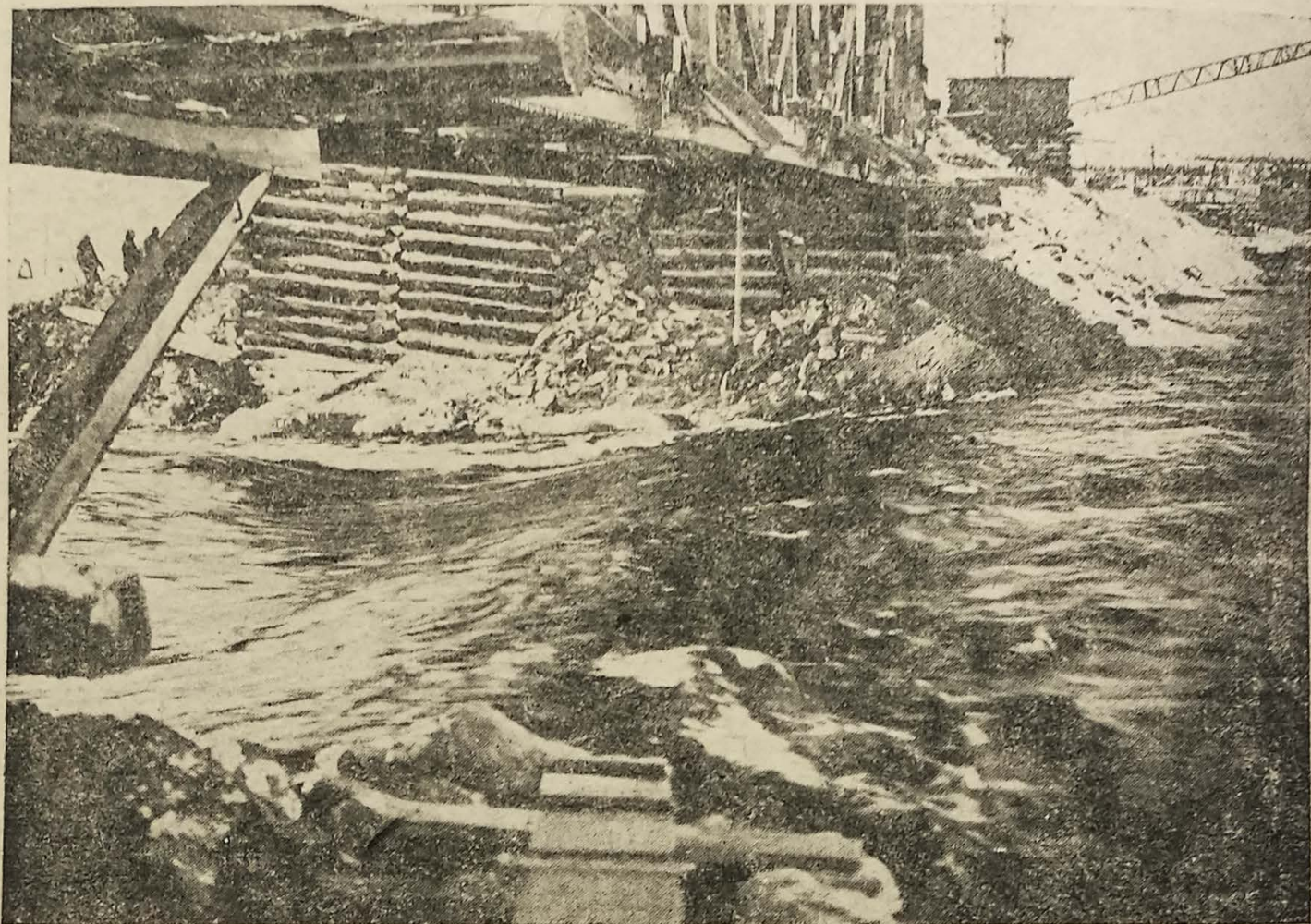
Рассмотрение данных таблицы 4, схемы на фиг. 13, равно как и личные впечатления автора, полученные им на месте работ,¹ дают основание полагать нижеследующее.

Данные измерений, приведенные в графах 2 и 5, достаточно надежны для суждения о разности горизонтов верхнего и нижнего бьефов (графа 8). Что касается измерений водной поверхности в створе моста (графа 3), то вследствие того, что расположение точек промера диктовалось здесь самой возможностью производства

¹ В период нахождения в командировке на Нивастрое 16/III—22/III 1933 г.

измерений, а не характером водной поверхности (см. фиг. 17), разность горизонтов приведенная в графе 6, дает, скорей всего, лишь большую или меньшую часть перепада на водосливном участке, чем таковой в целом. Поэтому при выяснении вероятных пределов величины этого перепада, мы, взяв за нижний предел приведенную в графе 6 для интересующей нас даты (12/III) величину, в качестве возможного верхнего предела, примем разность между отметкой Г. В. Б. и показанием водомерной рейки III¹ по средним (с 28/II по 7/III 1933 г.) данным, относящимся к периоду до наброски, ¹ т. е. $109,10 - 108,33 = 0,77$ м.

Поскольку, с одной стороны, этот перепад определялся в основном местными явлениями, связанными со стеснением, обусловленным „прорывом“, а, с другой стороны, интенсивность водоворотной зоны, в пределах которой находилась рейка III в этот период, была еще невелика и, во всяком случае, дает тенденцию к некоторому увеличению этого перепада — принятие приведенной величины за верхний предел — имеет достаточно оснований.



Фиг. 17. Местный перепад на водосливном участке наброски (Нива II).

В связи со сказанным, приходим к тому, что в интересующий нас момент 12/III, при наличии разницы горизонтов верхнего и нижнего бьефов

$$\nabla \text{Г. В. Б.} - \nabla \text{Г. Н. Б.} = 1,49 \text{ м,} \quad (\text{Е})$$

перепад на водосливном участке может быть, повидимому, оценен в пределах:

$$Z = \text{от } 0,51 \text{ до } 0,77 \text{ м,} \quad (\text{Ж})$$

в то время как перепад h , воспринимаемый участком наброски — быстротоком, составит соответственно:

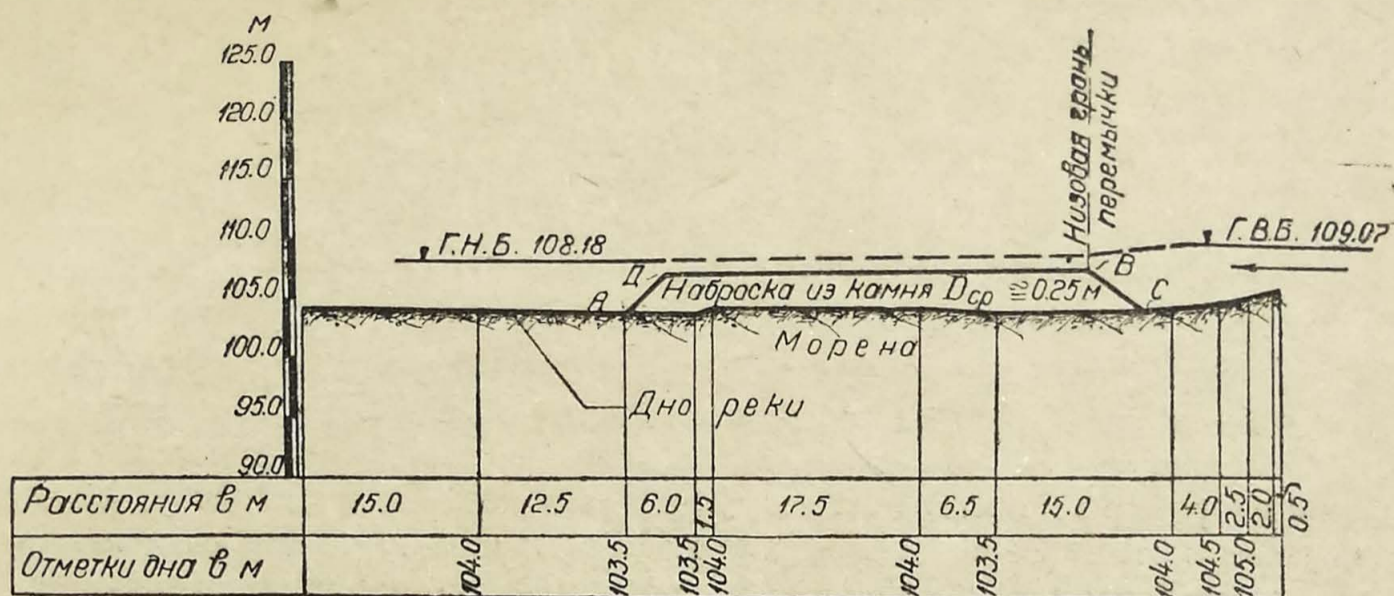
$$h = \text{от } 0,72 \text{ до } 0,98 \text{ м.} \quad (\text{З})$$

Характер водной поверхности, построенной по приведенным выше данным, показан на фиг. 18 и 14. На графике 18 показан также полученный до начала наброски профиль дна, позволяющий за расчетную величину принять:

$$\text{отметку дна реки} = 104,00. \quad (\text{И})$$

¹ Рейка III предпочтительней в данном случае перед № 8 тем, что на ее показания не могли оказать влияния потери на участке III—8 существенные и при отсутствии наброски.
² Перепад этот определялся тем стеснением, которое испытывала р. Нива, имеющая в бытовых условиях ширину около 150 м, при прохождении прорыва шириной ~ 25 м.

Наибольшая распространенность основной массы¹ камня, составляющей отсыпь, была зафиксирована в результате просмотра дна реки с лодки, используя специальную стеклянную раму для улучшения видимости; крайняя низовая граница по оси отсыпки показана на фиг. 18 точкой А. Имея в результате промеров с моста точку В на-



Фиг. 18. Продольный разрез по оси „языка“ наброски на 13/III 1933 года.

броски, проводя затем линии ВС и АД под углом, близким к естественному откосу камня, и линию ВД параллельно водной поверхности, на графике получено вероятное очертание отсыпи по оси потока и отсюда — полная длина ее понизу

$$L_0 = \sim 45 \text{ м.}$$

(К)



Фиг. 19. Вид со стороны нижнего бьефа на низовой откос наброски — быстротока (Нива II).

Указанная цифра хорошо увязывается с распространением в плане гидравлической картины, характерной для потока,двигающегося в бурном состоянии по быстротоку — низовому откосу отсыпи, как она видна на фиг. 19, заснятой со стороны нижнего бьефа.

¹ Отдельные камни сносились потоком с наброски, повидимому, на большее расстояние.

Последняя фигура, наблюдения произведенные мной на месте работ, равно как и некоторые методические исследования, проведенные в лаборатории, дают основание полагать, что вследствие значительного сжатия потока, протекающего сквозь „прорыв“ и общего „лоткообразного“ рельефа дна вынос камня происходил „языком“, средняя ширина которого была около 10 м (см. фиг. 16).

Подсчет (на основе продольного профиля, показанного на фиг. 18, и приведенных выше соображений) суммарного W объема камня дает цифру:

$$W = \left[\frac{3,5 + 2,5}{2} \cdot 37 + \frac{4,5}{2} + \frac{2,53}{2} \right] \cdot 10 = 1250 \text{ м}^3,$$

согласующуюся с таковой пункта (А).

§ 12. Сопоставление данных расчета и строительного опыта Нивастроля.
Для того, чтобы воспользоваться методом расчета, изложенным во втором разделе надлежит, прежде всего, сделать приведение сечения русла на участке „прорыва“ к расчетному прямоугольному, придавая последнему глубину, отвечающую таковой стрелня потока (поскольку сечение с наибольшей глубиной отвечает наибольшей длине „языка“ наброски) и подбирая эффективную ширину его b_c так, чтобы при горизонте нижнего бьефа, имевшем место при отсутствии наброски, данный расход проходил с бытовой средней скоростью.

Планиметрирование по фиг. 15 площади живого сечения „прорыва“ при Г. Н. Б. = = 108,18 дает:

$$\Omega = 78,00 \text{ м}^2,$$

что, при расходе по пункту (В), приводит к бытовой средней скорости

$$v_{\text{ср}} = \frac{76}{78,00} = 0,99 \text{ м/сек.}$$

Бытовая глубина потока на стрелне, учитывая пункт (И), будет:

$$h_b = 108,18 - 104 = 4,18 \text{ м.}$$

Эффективная ширина b_c расчетного прямоугольного сечения определится из условия:

$$v_{\text{ср.}} \cdot b_c \cdot h_b = Q$$

$$b_c = \frac{Q}{v_{\text{ср.}} \cdot h_b} = \frac{76}{0,99 \cdot 4,18} = 18,00 \text{ м.}$$

Откуда расход потока у отсыпи, приходящийся на пог. m ширины расчетного прямоугольного русла, будет:

$$q_0 = \frac{76}{18} = 4,2 \text{ м}^3/\text{сек на пог. м.}$$

Таким образом, в данном конкретном случае задача проверочного расчета может быть формулирована так.

Имеется камень, диаметром (приведенным к шару) $D = 0,25 \text{ м}$, вес единицы объема которого $\nabla_1 = 2,60$.

Каковы будут размеры отсыпи, сооружаемой наброской камня в поток, единственный расход которой $q_0 = 4,2 \text{ м}^2/\text{сек}$ (на пог. m), а бытовая глубина $h_b = 4,18 \text{ м}$, если должна быть создана разница горизонтов верхнего и нижнего бьефов, равная (см. пункт Е)—1,49 м.

В отношении числовых значений коэффициентов, входящих в расчет, мы используем среднее арифметическое из тех, которые были указаны в нашей работе, как предельные,¹ как то зачастую и делается при расчетах, связанных с проектировкой.

¹ С. В. Избаш, „Постройка плотин наброской камня в текущую воду“, 1932 г.

Так, для водосливного участка при стадии быстроготока ¹

$$M = \frac{1,5 + 1,75}{2} = \sim 1,62 \text{ (что отвечает } m = 0,37)$$

для коэффициента шероховатости

$$n = \frac{0,04 + 0,06}{2} = 0,05.$$

Предельное значение средней скорости, сдвигающей камень на быстроготоке — низовом откосе отсыпи (см. стр. 94—95 „Постройки...“)

$$v_{\max} = Uv \sqrt{2g \frac{\Delta_1 - \Delta}{\Delta}} \sqrt{D} = 1,20 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{2,6 - 1,0}{1,0}} \sqrt{0,25} = 3,37 \text{ м/сек.}$$

Ход расчета приведен в § 8 настоящего раздела (см. также схему Б на фиг. 11).
Задаваясь предполагаемым фильтрационным расходом

$$q'_{\text{ф.}} = 0,3 \text{ м}^2/\text{сек},$$

найдем:

$$q' = q_0 - q'_{\text{ф.}} = 4,20 - 0,30 = 3,9 \text{ м}^3/\text{сек на пог. м.} \quad (1)$$

Далее

$$H_0 = \left[\frac{q'}{M} \right]^{\frac{2}{3}} = \left[\frac{3,9}{1,62} \right]^{\frac{2}{3}} = 1,80 \text{ м,} \quad (2)$$

$$h_0 = \frac{q}{v_{\max.}} = \frac{3,9}{3,37} = 1,16, \quad (3)$$

Как это видно из фиг. 13 подходное сечение верхнего бьефа настолько велико, что скорость подхода пренебрежимо мала. Тогда:

$$Z' = H_0 - h_0 = 1,80 - 1,16 = 0,64 \text{ м,} \quad (4)$$

$$h = (\text{Г. В. Б.} - \text{Г. Н. Б.}) - Z' = 1,49 - 0,64 = 0,85 \text{ м,} \quad (5)$$

$$H = h_0 + h - h_0 = 4,18 + 0,85 - 1,16 = 3,87, \quad (6)$$

$$h_2 = H - h = 3,87 - 0,85 = 3,02 \text{ м,} \quad (7)$$

$$i = \frac{\frac{n^2 q^2}{10}}{h_0^{\frac{3}{3}}} = \frac{0,05^2 \cdot 3,9^2}{1,16^{\frac{3}{3}}} = 0,023, \quad (8)$$

$$L_0 = 1,25 (H + h_2) + \frac{h}{i} + 3 \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} = 1,25 (3,87 + 3,02) + \frac{0,85}{0,023} + 3 \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot 3,9^2}{9,81}} = 49,6 \text{ м.} \quad (9)$$

Проверим величину фильтрационной части расхода:

$$l_{\text{ф.}} = \sqrt{h_2^2 + \left(1,25 H + \frac{h}{i} \right)^2} = \sqrt{3,02^2 + \left(1,25 \cdot 3,87 + \frac{0,85}{0,023} \right)^2} = 41,8, \quad (10)$$

$$I = \frac{h}{l_{\text{ф.}}} = \frac{0,85}{41,8} = 0,02 \quad (11)$$

$$q''_{\text{ф.}} = \mathfrak{B} H = 0,05^2 \cdot 3,87 = \sim 0,20 \text{ м}^3/\text{сек на пог. м}$$

или

$$Q_{\text{ф.}} = 0,20 \times 18 = 3,6 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

¹ См. также данные таблицы 7 на стр. 46 „Постройка плотин наброской камня“.

² Получено по графику, помещенному на стр. 101 книги „Постройка плотин наброской...“.

Поскольку полученный фильтрационный расход весьма мал по абсолютной величине, как и та его величина (0,30), которой мы предположительно задались в начале расчета, пересчета можно не производить.

Отметим все же, что порядок величины Q_{ϕ} тот же, что и приведенный в пункте (Д) § 11.

Сопоставим в таблице 5 размеры отсыпи и распределение суммарного перепада между участками водослива и быстротока, полученные из расчета с таковыми, измеренными в натуре.

ТАБЛИЦА 5.

Сопоставление распределения перепадов и размеров наброски по измерениям в натуре и данным расчета, произведенным при следующих, средних значениях коэффициентов:

$$M = 1,62; n = 0,05 \text{ (размеры в метрах)}$$

Наименование	ГВБ—ГНБ = 1,49 перепад:		Высота отсыпи H	Уклон отсыпи на уч. быстротока, i	Полная длина отсыпи понизу L_0	Примечание
	На водосл. участке	На быстротоке				
Расчет . . .	0,64	0,85	3,87	0,023	49,6	Расход на пог. $m = 4,2 \text{ м}^3/\text{сек}$
Действительность	0,51—0,77	0,98—0,72	3,5—3,8	0,02—0,026	~ 45	

Как видно из таблицы, совпадение данных расчета и действительности можно признать, в общем, удовлетворительным.

В заключение настоящего параграфа особо сопоставим, кроме того, те элементы, которые были введены в расчет, исходя из лабораторных опытов (главы I—IV „Постройки...“) и соображений о подобии и правилах пересчета на натуре (глава V „Постройки...“).

ТАБЛИЦА 6.

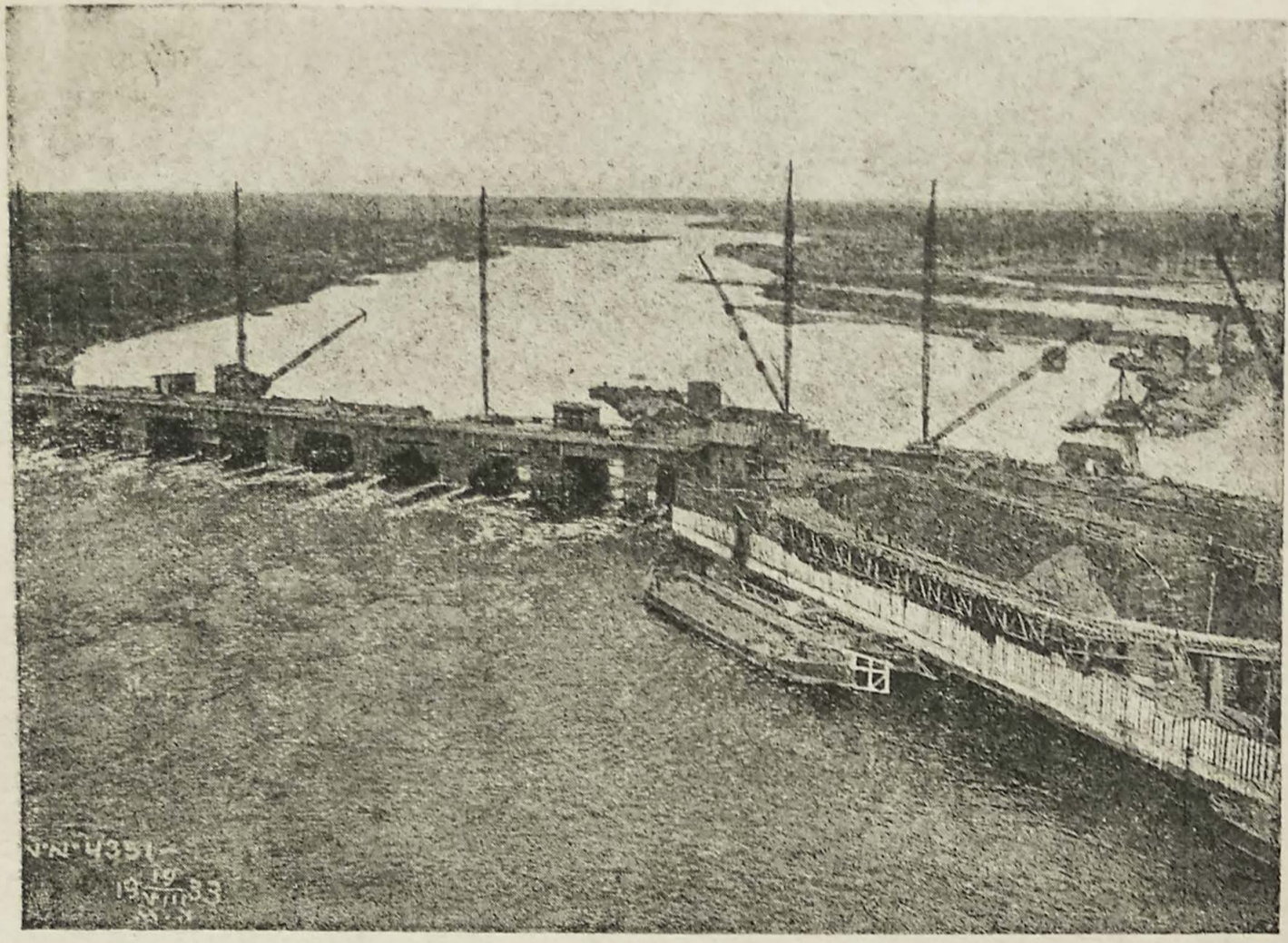
Сопоставление элементов расчета, полученных из лабораторных опытов и соображений о пересчете на натуре („Постройка плотин наброской“), с данными действительности.

Наименование	Предельные, сдвигающие камень на откосе, отсыпи, скорости	$M = m \sqrt{2g}$, где коэф. расхода	Пределы коэф. шероховатости
Расчет: Действительность (см. также табл. 3)	$v_{\max} = 3,37 \text{ м/сек}$	1,50 — 1,75	0,04 — 0,06
	На глубине 15 см от поверхн. $V_{15} = 2,80 \text{ м/сек}$ Измерения у дна $v_{gr} = 3,34 \text{ м/сек}$	1,45 — 1,80	0,046 — 0,054

Значение скоростей, измеренных в натуре с моста, есть среднее из многих измерений, произведенных на переходе от водосливного участка к быстротоку.

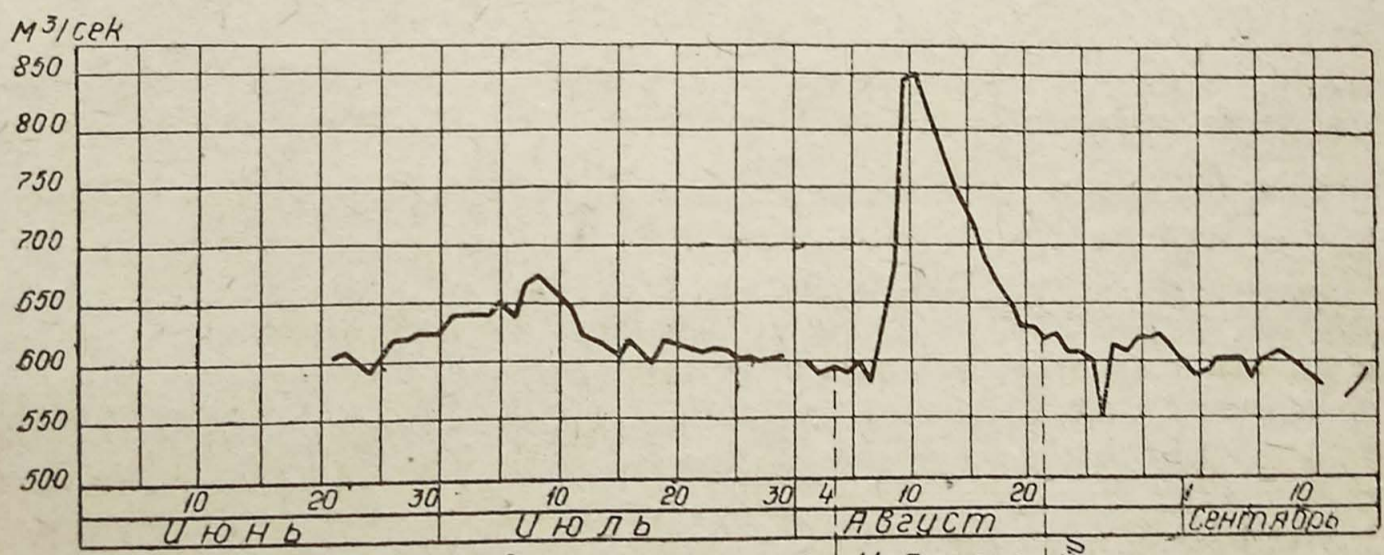
Пределы, показанные для действительности, вычислены исходя из пределов величин перепадов и потерь напора на участке быстротока, полученных измерениями в натуре и приведенных в пунктах (Ж) и (З) предыдущего параграфа.

§ 13. Наброска камня в текущую воду на Свирьстрое. Река Свирь, участок которой в створе сооружений изображен на фиг. 20, имеет в бытовых условиях ширину около 300 м. Ее расход, отчасти зарегулированный Онежским



Фиг. 20. Нижне-Свирская установка. Вид со стороны нижнего бьефа на временный мост, оборудованный для производства наброски.

озером, колебался в интересующий нас период строительства от 500 до 850 м³/сек, как то показано на графике (фиг. 21).



Примечание: Расходы вычислены по показаниям водомерных постов Н.Б. (по кривой расходов действительной для части лета 1933г.)

Начало работы узла колеблющегося

Набросано 12000 м³ камня (58% от общего кол-ва в 20700 м³)

Начало наброски массивов

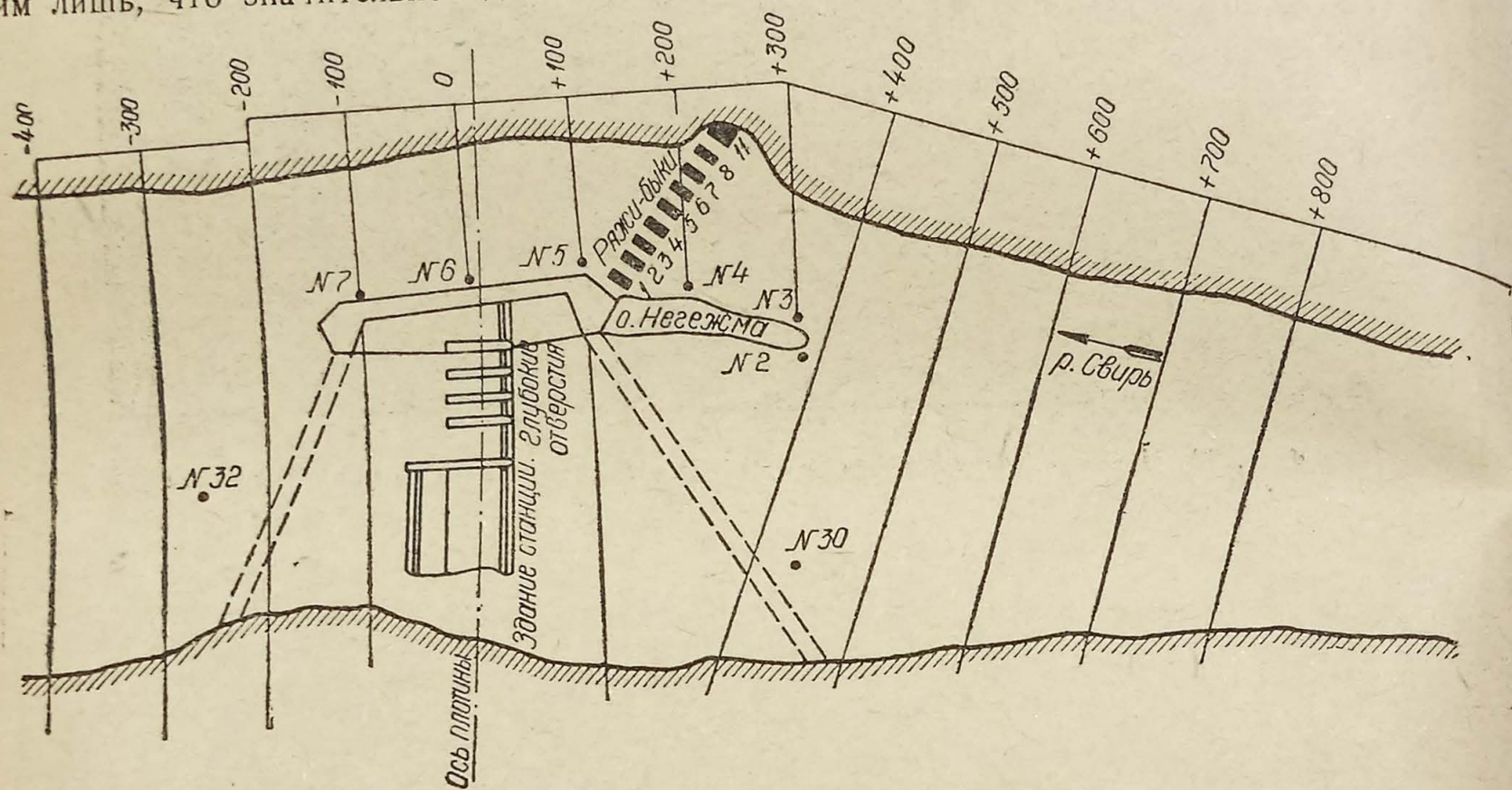
Фиг. 21. График расходов р. Свирь в период сооружения верховой перемычки II очереди Нижне-Свирской установки.

Сравнительно плотные глинистые грунты русла р. Свири почти не деформируются при естественном ее режиме.

Напротив того, при стеснении русла на две трети ее ширины перемычками первой очереди (см. фиг. 22), размывы получили значительное развитие.¹ При переходе к сооружению перемычек второй очереди, преграждение правого протока (имевшего ширину около 120 м при глубине 6,00 м) и поворот реки в законченные сооружения глубокие отверстия было решено произвести помощью наброски камня и бетонных массивов в текущую воду. Этим методом должно было быть создано ядро верховой перемычки второй очереди, не только обеспечившей впоследствии откачку котлована, но и державшей при этом, напор около 16 м, позволивший пустить в действие гидростанцию.

Общий ход работ начался с устройства через правый поток моста на восьми ряжевых быках (6,50 × 19,5 м в плане) при одновременной разборке перемычек первой очереди.² Длина моста, отвечающая длине фронта будущей набросной перемычки, 62,25 м (6,50 × 8 + 12,25 × 9); ось моста составляла с направлением потока (до начала установки ряжей) угол около 35°.

Установка 8 ряжей-быков в правом потоке представляла собой серьезную задачу, решение которой, мы надеемся, будет описано инженерами-производственниками. Отметим лишь, что значительное дополнительное стеснение, создаваемое быками, и без



Фиг. 22. Схема участка реки Свири с показанием водомерных постов.

того в узком, по сравнению с бытовым режимом реки, протоке, в соединении с косым по отношению к течению их расположением, создало предуказанную лабораторными опытами и оправдавшуюся в действительности сложную гидравлическую картину и опасность подмыва быков; отсюда необходимость в соответствующих предварительных креплениях дна реки помощью наброски камня в месте установки отдельных быков.

Некоторые данные по устройству моста сведены в табл. 7.

На фиг. 20 — общий вид со стороны нижнего бьефа законченного и оборудованного вантовыми дерриками и ж.-д. путями моста.

С 3/VIII начинается интенсивная наброска камня³, движение которой во времени показано на фиг. 23 — графике подачи камня на перемычку водным путем и узкой колеей по мосту.

¹ Подробная гидравлическая характеристика правого протока р. Свири при перемычках 1-й очереди дана в статье автора: „О влиянии масштаба при лабораторном исследовании гидротехнических сооружений“ (см. „Известия Научно-Исследоват. Института Гидротехники“, т. XI, 1934 г.).

² Правобережный ряжевый устой, именуемый „ряж № 11“, был установлен задолго до приступа к устройству моста.

³ Сбор технических материалов, относящихся к сооружению набросной перемычки был произведен на месте работы старшим техником лаборатории К. В. Бураковским. Энергия этого последнего, в соединении с отмеченной в § 1 исключительной атмосферой содействия со стороны работников Стр-ва — позволили получить все приводимые ниже числовые величины.

ТАБЛИЦА 7

основных данных хода работ по устройству временного моста через правый проток по оси будущей перемычки 2-й очереди набросного типа.

Дата 1933 г.	Описание произведенных работ	Примечание
1	2	3
Конец мая 21/VI—22/VI 27/VI	Установлены ряжи №№ 8 и 7. Установлен ряж № 6. Установлен ряж № 5. Одновременно с 20/VI по 28/VI землечерпательным снарядом производилась срезка о-ва Негежма и расчистка дна под ряжи №№ 1—3.	После установки ряжа № 5, гидравлический характер потока, проходящего стеснение, весьма беспокойный.
1/VII 2/VII—27/VII	Установлен ряж № 1. В целях крепления дна, вдоль установленных ряжей наброшено с барок около 400 м ³ камня. Одновременно в пролете между 1 и 5 ряжем наброшено около 2300 м ³ камня, что повысило отметку дна под ряжами №№ 3—4 на 1,5 м.	Обнаруживаются размывы, особенно у углов ряжей.
23/VII—24/VII 28/VII—29/VII	Случайно попавший под место установки ряжа № 2 камень — удален. Установлен ряж № 2. Установлен ряж № 3 на каменную подсыпку.	После установки ряжа № 3, картина потока резко меняется, а именно: ось потока между ряжами 3—5 стала в пределах ряжей почти им параллельной.
1/VIII—3/VIII	Установлен ряж № 4, также на каменную подсыпку, этим и заканчивается устройство моста.	Наибольшие скорости сначала в лаборатории, затем и на месте работ обнаружены в пролетах 3—4 и 4—5.
3/VIII	Отсюда начинается период интенсивной наброски камня как с барж, так и с моста. Равно как и в связи с разборкой перемычки первой очереди вступают в работу глубокие отверстия бетонной плотины Свирь-строя.	В начале отсыпки продолжали иметь место размывы у ряжей. Так, 9/VIII были обнаружены размывы глубиной около 40 см в правом низовом углу ряжа № 8; так же—1 м в правом верховом углу ряжа № 1; в правом верховом и низовом углах ряжа № 5 и у правого низового угла ряжа № 4. Места размывов весьма близко совпадают с ранее полученными в лаборатории НИИГ при опытах, проведенных под руководством автора.

Как видно из этого графика, к 4 августа главным образом с барж было выгружено 3800 м³ (из них узкой колеей 100 м³) подручного камня; средний диаметр, приведенный к шару, около 0,25 м). В дальнейшем с барж по 20/VIII было выгружено еще 4900 м³ и при этом в основном в пролетах от продольной перемычки первой очереди до ряжа № 3, поскольку тут имели место скорости, позволяющие удерживать баржи на течении. Приблизительно общий центр тяжести створов произведенной таким образом наброски можно полагать на 3 м ниже низовой грани ряжей.

В тот же период (с 4/VIII по 20/VIII) с вагонеток узкой колеи, подаваемых на мост, было наброшено 6300 м³ камня той же крупности, но в основном на участке от правобережного устоя до ряжа № 3. Створами наброски здесь были промежутки между фермами моста, примерно в пределах: 3 м вверх и 1 м вниз по течению от низовой грани ряжей.

Таким образом, общая кубатура наброски камня средним диаметром, приведенным к шару, около 0,25 м составляет на 20/VIII 1933 г.

$$3800 + 4900 + 6200 = 15.000 \text{ м}^3. \quad (\text{А})$$

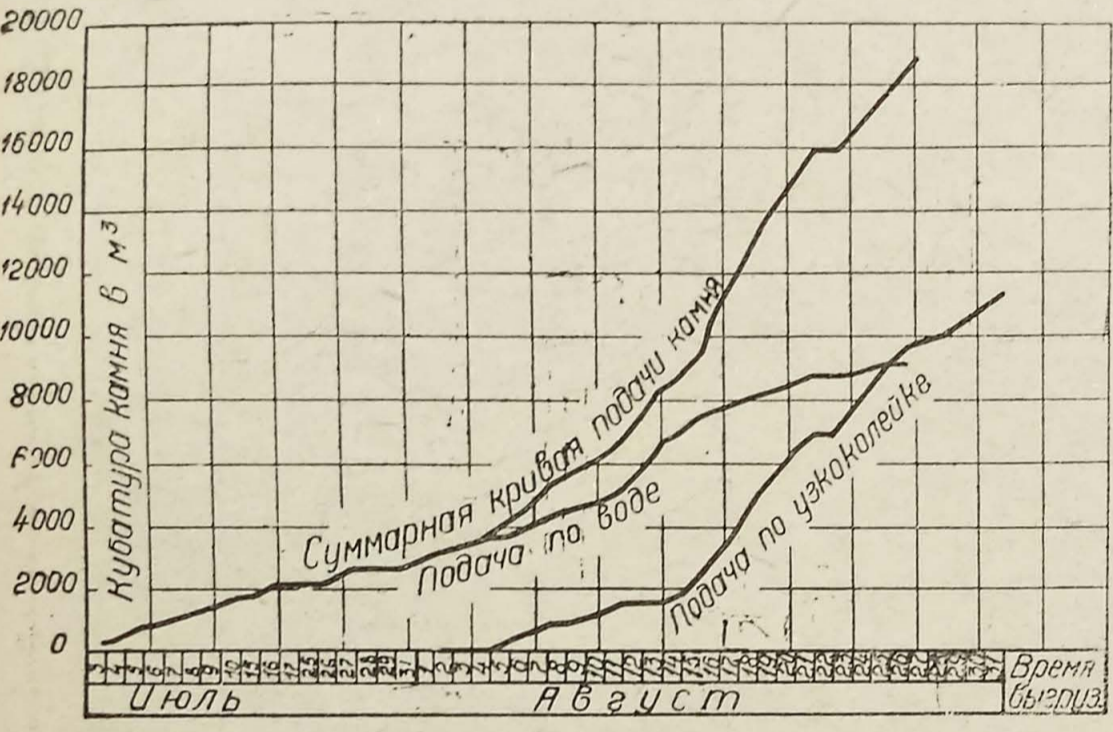
№№ по порядку	Дата 1933 г.	Расход реки м³/сек	Расход правого протока м³/сек	Ход работ по сооружению ядра перемычки набросного типа			Горизонт воды по водомерным рейкам (отметки в м)				Разность горизонтов (перепад в м)			Перепад, принятый как воспринимаемый сооруж. (ГВБ—ГНБ)	Примечание						
				Состояние работ	Суммарн. кол. выполненной работы			№ 30	№ 32	№ 4 + 300		№ 5 + 200				№ 30—№ 32	в районе наброски				
					установлены ряжи	наброска камня, м³	наброска массы, штук			в верхнем бьефе	в нижнем бьефе	№ 4—№ 5	(300) — (200)				средн.				
1	21/VI	605	605	Установлены ряжи	№№ 8—7	2	—	—	6,77	6,41	6,44	6,58	—	6,47	0,34	—	0,11	0,05	0,05	3/VII начата наброска камня с барж.	
2	23/VI	610	610		№№ 6, 7 и 8	3	—	—	6,79	6,42	6,45	6,61	6,45	6,48	0,37	0,00	0,13	0,06	0,06		
3	28/VI	625	625		№№ 5, 6, 7, 8	4	—	—	6,87	6,50	6,52	6,71	6,51	6,64	0,37	0,01	0,07	0,04	0,07		
4	2/VII	640	640		№№ 1, 5, 6, 7 и 8	5	—	—	6,98	6,56	6,62	6,82	6,57	6,70	0,42	0,05	0,12	0,08	0,08		
5	22/VII	608	608		№№ 1, 5, 6, 7 и 8	5	2 200	—	6,86	6,43	—	6,71	6,48	6,60	0,43	—	0,11	0,08	0,08		
6	27/VII	605	605		№№ 1, 2, 5, 6, 7, 8	6	2 700	—	6,85	6,41	6,55	6,70	6,47	6,59	0,44	0,08	0,11	0,09	0,10		
7	31/VII	600	600		№№ 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8	7	2 800	—	6,87	6,40	6,57	6,73	6,43	6,61	0,47	0,14	0,12	0,13	0,13		
8	3/VIII	590	570		№№ 1—8	8	3 500	—	6,87	6,38	6,66	6,74	6,42	6,62	0,49	0,24	0,12	0,18	0,18		В связи с разборкой перемычки 1-й очереди начало работы глубоких отверстий.
9	4/VIII	600	560	Начало интенсивной наброски камня			8	3 800	—	6,91	6,40	6,71	6,80	6,45	6,65	0,51	0,26	0,15	0,20	0,20	Начало подачи камня узкокоя.
10	6/VIII	610	532				8	4 600	—	—	—	6,89	6,91	6,48	6,68	0,71	0,41	0,23	0,32	0,32	
11	7/VIII	675	575				8	5 200	—	7,38	6,67	7,24	7,31	6,73	6,93	0,78	0,51	0,42	0,46	—	Случайное затопление баржи вызвало дополнительный подпор; затем баржа убрана.
12	8/VIII	845	745				8	5 500	—	7,93	7,15	7,54	7,82	—	—	0,78	—	—	—	—	
13	9/VIII	852	752				8	5 800	—	7,87	7,17	7,63	7,78	7,21	—	0,70	0,42	—	—	0,42	
14	12/VIII	765	570				8	7 500	—	7,55	6,93	7,33	7,45	6,94	—	0,62	0,39	—	—	0,39	
15	16/VIII	670	420				8	11 000	—	7,37	6,64	7,26	7,33	6,68	—	0,73	0,58	—	—	0,58	
16	18/VIII	628	321,5				8	13 100	—	7,35	6,51	7,32	7,33	6,56	—	0,84	0,76	—	—	0,76	
17	20/VIII	620	311,6				8	15 000	—	7,43	6,48	7,35	7,41	6,53	—	0,95	0,82	—	—	0,82	
18	21/VIII	625	300	Начало наброски массивов			8	15 900	—	6,53	6,50	7,45	7,52	6,55	—	1,03	0,90	—	—	0,90	
19	27/VIII	615	85	Гребень наброски вышел из воды, по всему фронту прекращена укладка массивов			—	19 300	2 336	8,47	6,46	—	—	—	6,50	2,01	1,97	—	—	1,97	1. Для 27/VIII за Г.В.Б. считаем показания поста № 30, т. к. наброска вышла из воды и уклон в б. весьма мал.
20	31/VIII	610	75	Окончена наброска камня D = 0,25 м			—	20 700	2 336	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2. Весь расход правого протока 85 м³/сек (фильтрует сквозь тело наброски).

С 20/VIII началась наброска дерриками специально изготовленных бетонных массивов, объемом в $1,5 \text{ м}^3$ (что при удельном весе 2,4 дает вес $3,6 \text{ т}$ (~200 пудов). Отдельные моменты наброски массивов показаны на фиг. 1 и 2 (см. § 1).

С 20/VIII по 26/VIII было также набросано еще 800 м^3 камня с барж. Массивы сбрасывались с высоты 10 м, будучи отцеплены с крюка деррика; створ наброски находился на расстоянии около 2,5 м вниз по течению от низовой грани ряжей.

С 20/VIII по 22/VIII, одновременно с наброской массивов к низовым торцам быков-ряжей, было доброшено с вагонеток около 500 м^3 камня.

Порядок, в котором пролеты забрасывались массивами, следующий: пролеты 1—2, 2—3, затем 0—1, 11—8, 8—7, 7—6 и 5—6; в последнюю очередь пролеты 3—4 и 4—5. Наброска камня продолжалась одновременно с наброской массивов и шла на частичное заполнение промежутков между массивами; ниже мы вернемся к этому при суждении о фильтрационных расходах сквозь наброску.



Фиг. 23. Нижне-Свирская установка. График подачи камня на перемычку II очереди водным путем и узкой колеей (по мосту).

Наброска массивов продолжалась до 29/VIII 1934 г.; по 31/VIII продолжалась наброска еще 4400 м^3 камня.

Таким образом, всего на устройство набросного ядра перемычки 2-й очереди Свирьстроя пошло

20700 м^3 камня (В)

средним диаметром, приведенным к шару, $d \cong 0,25 \text{ м}$ и

2336 штук бетонных массивов (Г)

объемом в $1,5 \text{ м}^3$ каждый и весом $3,6 \text{ т}$ (~200 пуд.).

Указанный строителям гидрометрической службой максимально вероятный в период наброски расход в $1300 \text{ м}^3/\text{сек}$ заставил последних в соответствии с расчетами заготовить значительно большее количество массивов.

Прогноз гидрометслужбы оказался весьма осторожным; в действительности, как видно из графика на фиг. 21, расход составлял большей частью около $600 \text{ м}^3/\text{сек}$, поднявшись лишь раз коротким во времени пиком до $850 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Меньшие, по сравнению с указанными гидрометслужбой и принятыми за расчетные расходы — создали значительный перевес сил, удерживающих наброску в равновесии, по сравнению с силами потока, стремившимся это равновесие нарушить. Набрасываемый камень не подвергался значительному разнесу и с помощью его одного можно было бы выйти из воды умеренным профилем. Основную роль в укладке бетонных массивов сыграли не гидравлические силы потока, а условия статической устойчивости как отсыпи в целом, так и отдельных массивов, падающих со значительной высоты. Лишь в отдельных случаях мы были свидетелями того, как „неудачливый“ массив, не нашедший себе упора, подхватывался и отшвыривался потоком в нижний бьеф.

25/VIII наброска вышла из воды по всему фронту. 27/VIII наброска из массивов дошла до отметки 10,5, возвышаясь почти на 2,5 м выше горизонта воды.

При разности горизонтов верхнего и нижнего бьефов

$$\nabla Г. В. Б. - \nabla Г. Н. Б. = 2,01 \text{ м}, \quad (Б)$$

фильтрационный расход сквозь наброску составлял 85 м^3 .

28/VIII начата наброска первого слоя (крупная галька) антифильтра.

Перейдем теперь к данным гидрометрических измерений, сопутствующих наброске. Эти данные сведены в таблице 8 (см. также фиг. 22). Опираясь на измерения расходов, произведенные на водомерном посту в Пиркиничах (см. фиг. 21), расходы реки на интересующие нас даты получены помощью специально составленной для лета 1933 г. кривой связи (для створа сооружений). (Табл. 8 см. выше стр. 56—57).

Часть, идущая через водосброс, измерялась (12, 18, 20, 22, 25, 27, 29 и 31 августа) гидрометпартией; на остальные числа получена (см. фиг. 22) интерполяцией внутри этих данных. На фиг. 24 показано распределение расходов.

Далее, как это легко усмотреть из планового расположения сооружений и водомерных постов, для выяснения величины перепада, вызванного собственно наброской перемычки второй очереди, наибольший интерес представляли собой следующие, попарно дававшие возможность осреднить и поперечные уклоны, посты: № 4 совместно с +300 (последний на правом берегу), расположенные в верхнем бьефе и № 5 совместно с +200 — в нижнем.

Так как в процессе работ некоторые водомерные рейки оказались уничтоженными, то данные этих постов оказалось необходимым возобновлять, используя, как некоторый вспомогательный для анализа материал, показания соседних реек. Так получена часть данных, приведенных в графе 11, а именно: в период с 7/VIII по 20/VIII использованы показания рейки 3 (см. фиг. 22) с вычетом из них одного сантиметра — в целях учета потерь по длине; 21/VIII — использованы пост № 2, показания которого уменьшены по тем же соображениям на 8 см. Абсолютные величины, приведенных в качестве вычитаемых цифр, получены путем анализа и взвешивания показаний ряда водомерных постов за предшествующий период.

Как видно из данных таблицы 8, на интересующую нас дату 20/VIII 1933 г.

$$\nabla Г. В. Б. - \nabla Г. Н. Б. = 0,82 \text{ м. (Д)}$$

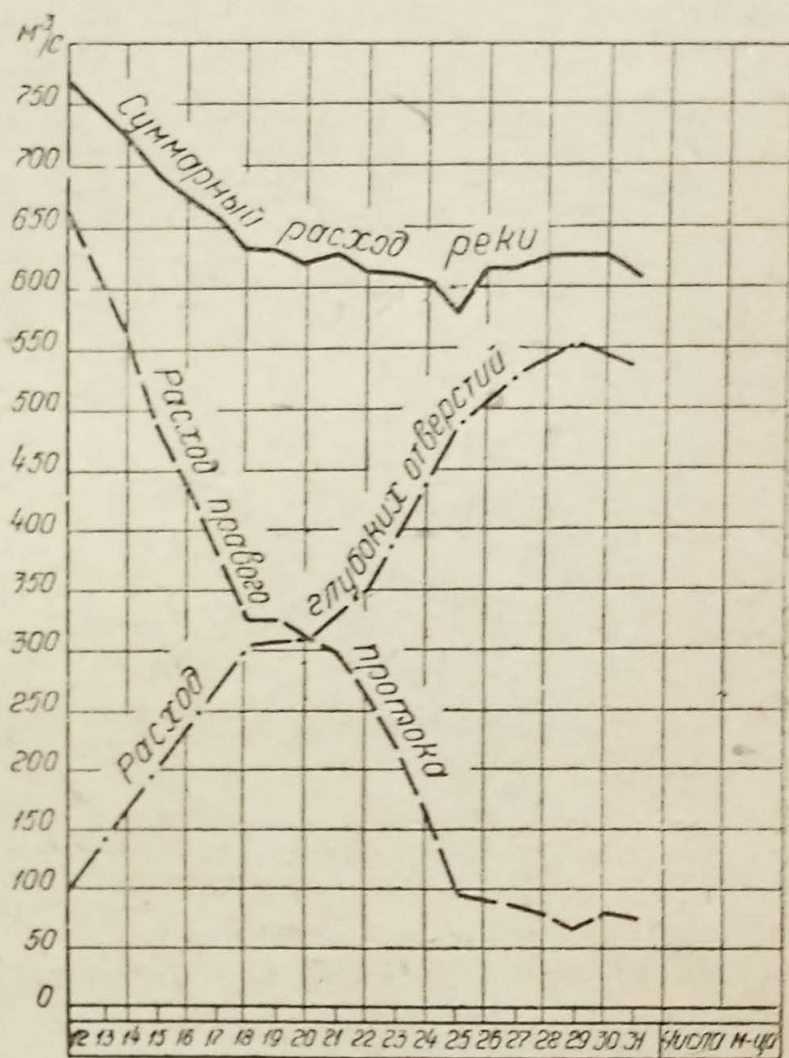
Перейдем теперь к данным промеров конфигурации отсыпи. Мы уже имели случай отмечать сложный и определяющийся в первый период, повидимому больше производственными условиями (трудность установки барж на сильном течении, местные крепления у ряжей и т. п.), чем общей гидравлической картиной потока, характер наброски камня. В этот период данные непосредственных наблюдений, промеров, хода загрузки камня и предварительных подсчетов с несомненностью показывают одно: продольный по осям пролетов профиль наброски камня в продолжение августа месяца неуклонно рос как в высоту, так и в длину. Наиболее развитую форму наброска камня получает 20/VIII, непосредственно перед тем, как были пущены в ход массивы.

При этом промеры по оси пролета 2—3 (см. фиг. 22), как показало рассмотрение материалов, повидимому отличаются наибольшей надежностью и дают характерное и во всяком случае не преуменьшенное по сравнению с другими пролетами очертание наброски. Этот профиль показан на фиг. 25 пунктирной линией. Включение в этот профиль точек поверхности наброски по данным измерений 22/VIII и 27/VIII гарантирует нас от преуменьшения, имевшего место 20/VIII профиля; запас же здесь не может быть чрезмерно велик, поскольку относительно невелик объем камня, доброшенного после 21/VIII.

Полная длина по низу наброски камня на 20/VIII, по данным фиг. 25 может быть на уровне отметки дна +1,00 м оценена, как

$$L_0 = 25,2 \text{ м.}$$

(Е)



Фиг. 24. Распределение расхода р. Свирь между правым протоком и глубокими отверстиями в августе 1933 г.

Подсчитанная по графику площадь поперечного сечения наброски на это число составляет

$$\Omega = 100 \text{ м}^2.$$

Некоторый контроль указанных величин может дать просчет по ним кубатуры и сравнение с таковой, указанной в пункте (А) настоящего параграфа.

При суммарной длине пролетов 110,25 м,

$$W_1 = 110 \times 110,25 = 12\,100 \text{ м}^3.$$

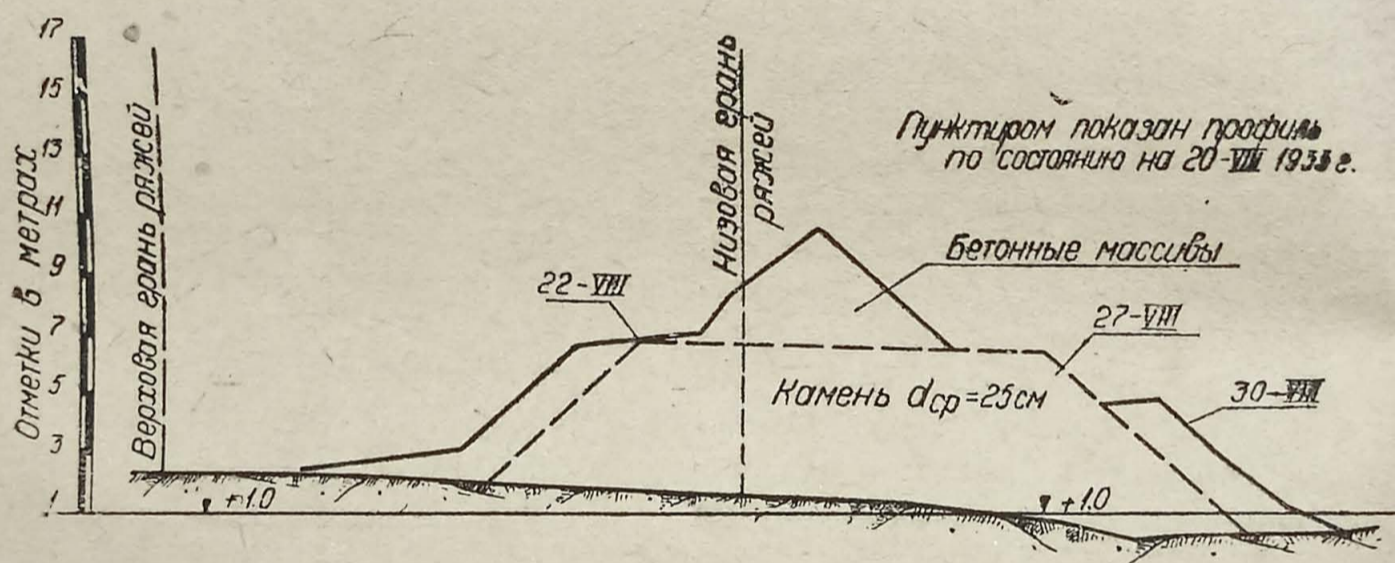
Изображенный на фиг. 25 профиль, будучи отнесен соответственной частью к участку против торцов ряжей суммарной длиной 52 м, дает кубатуру:

$$W_2 = 72 \times 52 = 3\,700 \text{ м}^3.$$

Суммарный объем, получаемый таким подсчетом,

$$W = W_1 + W_2 = 12\,100 + 3\,700 = 15\,800 \text{ м}^3,$$

что достаточно близко к цифре 15 000 м³ пункта (А), чтобы гарантировать нас от резких расхождений.



Фиг. 25. Профиль наброски подручного камня в створе 2 — 3.

В заключение приведем еще некоторые данные, относящиеся к очертанию наброски.

Как это показано на фиг. 25.

Для интересующего нас профиля средние:

отметка дна + 1,00 м,

отметка гребня наброски + 6,70 м,

отсюда высота отсыпи $H = 5,70 \text{ м}$.

Отметим также, что для той стадии, когда расход правого притока проходит через наброску целиком путем фильтрации, размеры отсыпи (на 30/VIII) оказываются следующими:

$$L_0 = 29,6 \text{ м (на + 1,0 м)},$$

H — камня, по предыдущему — 5,70,

H — отсыпи, включая массивы — 9,5 м (отметка гребня 10,5 м).

Наконец, существенный интерес представляет собой изображенный на фиг. 26 продольный (по длине фронта) профиль наброски подручного камня по состоянию работ на 19/VIII 1934 г. Из него видно, что даже при том весьма тщательном контроле равномерности наброски, который был организован Строительством, — практически неизбежные колебания в высоте гребня, в среднем 0,5 м, отдельные же местные неровности могут значительно превышать указанную величину.

§ 14. Сопоставление данных расчета и строительного опыта Свирьстроя.

В предыдущем параграфе было указано, что наиболее развитым, характерным для условий Свири и достаточно надежно освещенным промерами—является профиль наброски из подручного камня по оси пролета 2—3, достигнутый на 20/VIII 1933 г.; основной расчет произведен для условий наброски именно на эту дату; дополнительно мы произвели проверку величин фильтрационных расходов для случая наброски, вышедшей из воды.

Для того, чтобы воспользоваться методом расчета, изложенным в § 8, надлежит, прежде всего, выяснить величину расчетного—на 1 пог. м ширины потока у отсыпи—расхода.

Из таблицы 8 находим, что суммарный расход правого протока у отсыпи 20/VIII составлял

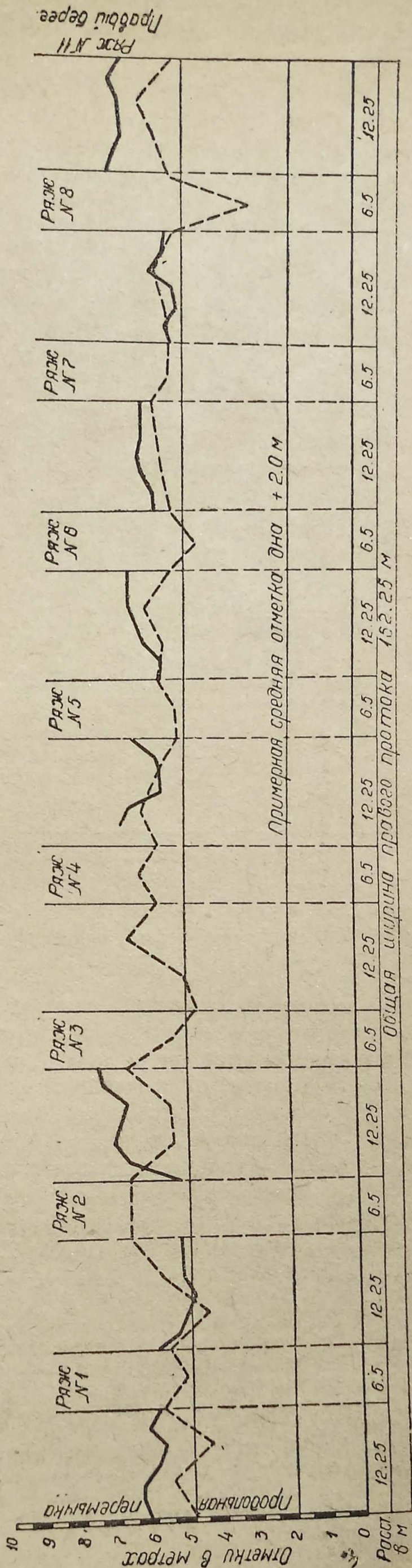
$$Q_0 = 311,6 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

В § 12 был изложен общий прием приведения естественного русла к расчетному прямоугольному,¹ в каковом для условий Свири должно было бы быть учтено и стеснение русла ряжами—быками.

Однако, сечение правого протока благодаря искусственным мероприятиям (прорезь, выполненная снарядом, наличие продольной перемычки с вертикальной гранью) оказалось сравнительно близким к прямоугольному и на интересующем нас участке при значительных глубинах средняя отметка дна $+2,0$ м близка к таковой в пролете 2—3 (где имеем $+1,00$). С другой стороны, как это видно из фиг. 26 гребень, в интересующей нас стадии, при значительной высоте отсыпи в целом, является практически равномерным в отношении средней отметки; подпор, созданный так выполненной наброской, несомненно сделал практически равномерным и распределение расхода по фронту наброски.

Приведенные обстоятельства позволяют в данном частном случае принять за эффективную ширину суммарную ширину пролетов (в свету) между быками, исправив ее на коэффициент 0,9, каковая поправка, по нашим соображениям, достаточно полно

¹ Прием такого приведения нами разработан и сопоставлен с данными специально поставленных лабораторных опытов.



Фиг. 26. Продольный (по длине фронта) профиль наброски подручного камня на Свирьстрое по состоянию работ на 19 августа 1933 года.

учитывает обстоятельства, связанные со сжатием потока и косым¹ расположением фронта в отношении первоначального направления потока. Иначе говоря:

$$b_c = 12,25 \times 9 \times 0,9 = 99,2 \text{ м.}$$

Тогда искомая величина расчетного на 1 пог. м расхода

$$q_0 = \frac{Q}{b_c} = \frac{311,6}{99,2} = 3,14 \text{ м}^3/\text{сек на пог. м.}$$

Теперь, основываясь на цифровых данных, приведенных в предыдущем параграфе, мы можем формулировать стоящую перед нами расчетную задачу так:

Имеется камень диаметром (приведенным к шару) $D = 0,25 \text{ м}$, вес единицы объема которого $\Delta_1 = 2,60$. Каковы будут размеры отсыпи, сооружаемой наброской камня в поток, единичный расход которого $q_0 = 3,14 \text{ м}^3/\text{сек}$ (на пог. м), а бытовая глубина $h_0 = 5,63 \text{ м}$ (∇ дна $+1,00 \text{ м}$, Г. Н. Б. $+6,63 \text{ м}$), если должна быть создана разница горизонтов верхнего и нижнего бьефов $= 0,82 \text{ м}$.

В отношении числовых значений, входящих в расчет коэффициентов, мы здесь, как и в § 12, будем пользоваться данными, указанными в книге „Постройка плотин наброской камня в текущую воду“.

В нижеследующей таблице 9 сопоставим основные размеры наброски, полученные расчетом, с таковыми действительности.

ТАБЛИЦА 9

сопоставления основных размеров наброски, полученных расчетом, с таковыми действительности, по состоянию ее на 20/VIII 1934 г.

($q_0 = 3,14 \text{ м}^3/\text{сек}$ на пог. м, Г. В. Б. — Г. Н. Б. $= 0,82 \text{ м}$, $D_{\text{ср.}} = 0,25 \text{ м}$)

Наименование	Полная высота отсыпи H , в м	Полная длина отсыпи по низу L_0	Примечание
Действительность	5,70	25,0	Коэффициент шероховатости $n = 0,05$
Расчет (при $M = 1,75$)	4,94	24,0	
Расчет (при $M = 2,00$)	5,08	26,0	

При оценке расхождений в высотах отсыпи следует иметь в виду приведенные выше данные о колебаниях высоты отсыпи по фронту на величину $\pm 0,50 \text{ м}$.

В заключение настоящего параграфа для той стадии наброски, когда она вышла на всем фронте из воды, произведем сравнение величины фильтрационного расхода, полученного расчетом, с таковым, наблюдаемым в природе. При этом напомним то отмеченное в § 13 обстоятельство, что благодаря одновременной (в последней после 21/VIII стадии сооружения) наброске массивов и камня (шедшего на частичное заполнение пустот между массивами) — есть основания, в данном частном случае, полагать всю наброску обладающей примерно одинаковой фильтрационной способностью, и притом той, которую имеет подручный камень ($D = 0,25 \text{ м}$), из которого состоит основная масса наброски.²

¹ Обратим внимание еще раз на то обстоятельство, что косое расположение фронта быков по отношению к потоку весьма существенно сказывалось в период последовательной их установки. Что же касается того, когда все быки установлены и создан подпор, обеспечивший весьма спокойную картину в верхнем бьефе — здесь влияние косого расположения мало существенно.

В связи с весьма спокойным характером подпертого в пределах ряжей потока, при достаточной величине этого подпора, повидимому, в рассматриваемом случае можно пренебречь местными потерями напора, обусловленными собственно ряжами; равно как и тем различием в местных сопротивлениях, которые вносятся ряжами при сопряжении с нижним бьефом.

² См. пункты (В) и (Г) § 13.

Еще 25/VIII (см. § 13) наброска вышла из воды по всему фронту; однако, нет оснований утверждать, что имевшее место 25/VIII измерение расхода глубоких отверстий (и тем самым правого протока), было произведено в часы, когда наброска вышла из воды.

Так как 28/VIII была начата укладка антифилтра, то показательными в отношении фильтрационного расхода являются 26 и 27/VIII. Наличие измерения расхода глубоких отверстий (и тем самым правого протока) 27/VIII говорит за целесообразность сопоставления расчетного и действительного сквозь тело наброски расхода именно на эту дату.¹

Расчетными данными для 27/VIII являются (см. § 13): Г.В.Б. = 8,47 м, ∇ дна = +1,00 м, $H = 8,47 - 1,00 = 7,47$ м (понимая под H в данном случае не полную высоту наброски, а часть ее, находящуюся ниже Г.Н.Б.); Г.Н.Б. = 6,50 м. Г.В.Б.—Г.Н.Б. = 8,47—6,50 = 1,97 м, средний диаметр камня $D_{ср.} = 0,25$ м, Так как после 20/VIII мы имеем лишь незначительный прирост профиля против принятого нами на 20/VIII, можно за путь фильтрации принять больший из полученных нами на 20/VIII, т. е. $l_{ф.} = 21$ м (расчет не приводим; однако порядок величины $l_{ф}$ легко проверить по соображению с фиг. 25). Подсчет фильтрационного расхода произведен следующим образом:

$$1. I = \frac{\text{Г.В.Б.} - \text{Г.Н.Б.}}{l_{ф.}} = \frac{1,98}{21} = 0,097.$$

$$2. \text{ По графику № 7 имеем } \mathfrak{B} = 0,11 \text{ м/сек.}$$

$$3. q_{ф.} = \mathfrak{B} H = 0,11 \cdot 7,47 = 0,82 \text{ м}^2/\text{сек.}$$

$$4. Q_{ф.} = q_{ф.} \cdot b = 0,82 \cdot 110,25 = 90 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Измеренный на месте работ 27/VIII фильтрационный расход (как разность между расходом реки $Q_{р.} = 615 \text{ м}^3/\text{сек}$ и расходом глубоких отверстий $Q_{г. о.} = 530 \text{ м}^3/\text{сек}$) составляет $Q_{ф.} = 85 \text{ м}^3/\text{сек}$, т. е. практически равен вычисленному.

§ 15. Некоторые дополнительные замечания и данные практического опыта. 1. Анализ, произведенный на протяжении предыдущих параграфов, относился к двум северным строительствам. Основные гидравлические характеристики тех потоков, в которые была произведена наброска, равно как и данные о размерах самой наброски, приведены в таблице 10.

ТАБЛИЦА 10

основных характеристик набросок камня в текущую воду, произведенных в 1933 г. на Нивастрое и Свирьстрое.

Строительство	Расч. расход на пог. м, м ³ /сек	Бытов. глубина.	Достиг. разн. Г.В.Б. Г.Н.Б., м	Размеры отсыпей				Примечание
				Высота H , м	Длина L_0 , м	Длина фронта, м	Кубатура наброски, м ³	
Нивастрой	4,2	4,18	1,49	3,65	45	24,6	1 156	Камень подручный ($D_{ср.} = 0,25$ м)
Свирьстрой	3,14	5,63	0,82	5,70	25	110,25 (без ряжей)	15 000	

¹ Здесь уместно указать, что как в предыдущем расчете размеров наброски, так и в данном подсчете мы пренебрегаем фильтрацией сквозь ряжи, так как они были обшиты досками (вплотную) и фильтрация сквозь них была совершенно ничтожна.

2. В обоих случаях наброска производилась на участке с сильным стеснением потока; на Свири—кроме того в условиях косою расположении фронта к первоначальному направлению течения. Гидравлические данные Нивы тяжелей Свирских. Объем работ на Свири превышает таковой Нивы, главным образом, вследствие почти в пять раз большей длины фронта.

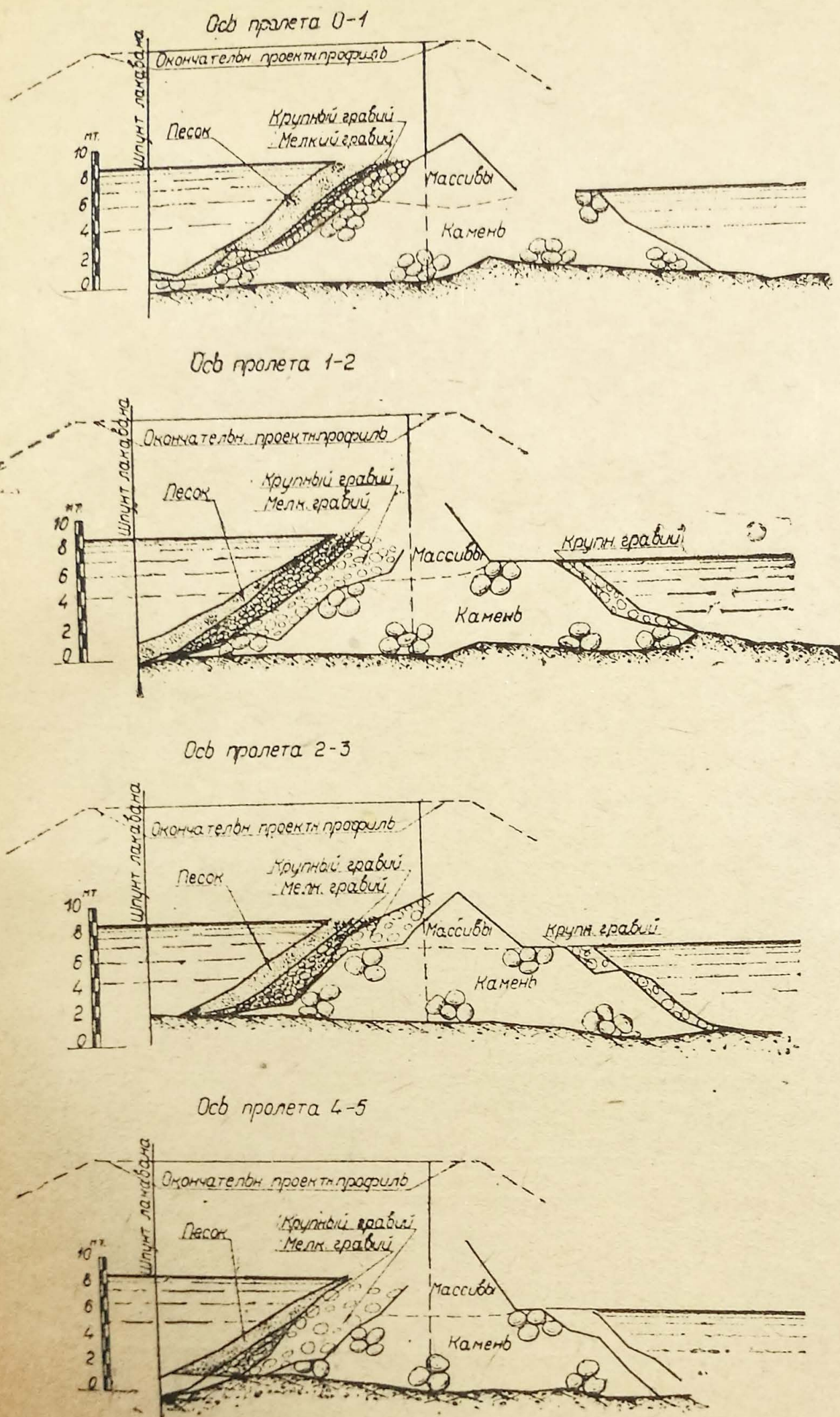
3. Как видно из §§ 12 и 14 данные практического опыта, в целом, подтверждают метод расчета, а равно величины входящих в него опытных коэффициентов.

4. При этом необходимо иметь в виду неизбежные на практике колебания величин коэффициентов расхода M , связанные со случайностями в образовании гребня наброски—водослива и некоторыми другими обстоятельствами; в расчетах осторожней брать более высокие значения M , чтобы не преувеличить перепада на водосливном участке Z , что в свою очередь повлекло бы за собой преувеличенное, по сравнению с действительностью, представление о роли бокового водосброса.

5. В отношении последнего следует иметь в виду, что особенно в первые периоды своей работы его водопрopusкная способность может оказаться существенно меньшей, чем расчетная теоретическая. Причина этого в том, что при малых глубинах велика потеря напора

на подходном к водосливу канале; кроме того, зимой водослив обмерзает (Нива-строй). Уменьшение водопрopusкной способности бокового водосброса может быть связано и с трудностями или задержками в разборке перемычек (Свирьстрой) или остатками таковых.

6. Что касается коэффициента шероховатости, то при подручном камне нет оснований полагать его в расчетах большим $n = 0,05$.



Фиг. 27. Поперечные профили наброски с показанием положения слоев обратного фильтра, выполненного насыпкой в воду.

7. Поучительны данные практики в отношении создания под водой обратных фильтров (см. фиг. 27). Оказывается, что толщины отсыпаемых слоев должны быть достаточны для покрытия весьма значительных неправильностей верхового откоса; при этом, надо предвидеть, что насыпаемый на верхнюю часть откоса материал лишь постепенно сползает вниз, упираясь о встречные препятствия. Действительно из верхнего чертежа видно, что слой мелкого гравия метровой толщины явился недостаточным. В месте его выклинивания имеет место контакт песка с крупным гравием; толщина последнего (задержка о верховую берму) также недостаточна. В пролете 1—2 слой крупного гравия несмотря на свою мощность (3 м) уперся вблизи основания в подстилку из крупного камня. Анологичная картина и по оси пролета 2—3. Наконец по оси пролета 4—5 мы имеем случай, когда мелкий гравий соскользнул не удержавшись на круто отсыпавшемся слое крупного.

Металлический шпунт с верховой стороны (см. фиг. 27) в данном проекте перестраховывал опасность вымыва мелких фракций. Однако из приведенного очевидно, что в случае отсутствия шпунта фильтр под водой должен создаваться из многометровой толщины отвалов.

8. В отношении самой операции по наброске отметим, что подготовительный к ней период (устройство мостов, путей, установка механического оборудования) занимает значительно больший отрезок времени, чем наброска, как таковая; тщательность в подготовке транспорта и запасов материала является решающей для успеха наброски.

9. Достигнутая в разгар работы максимальная оправданная до сих пор практикой двух строителей производительность наброски: 10 м³ подручного камня на 1 пог. м фронта в сутки (трехсменная работа).

10. Требующиеся для достижения указанной нормы транспортные и механические приспособления различны в зависимости от длины фронта. Так, на Нивастрое при длине фронта 24,5 м наброска осуществлялась помощью подаваемых вручную на мост (два пути) опрокидывающихся вагонеток узкой колеи (дековиль). На Свирьстрое при длине фронта наброски 110,25 м (а с учетом быков ряжей 162,25) та же самая максимальная производительность наброски камня была достигнута при следующем основном оборудовании¹ ряжевого моста (см. фиг. 20).

а) подвижной состав узкой колеи: паровозов (кукушек)—3 шт.; платформ—25 шт.

б) буксирные пароходы и баржи: одновременная подача последних 3—4 шт. Разгрузка камня по пунктам „а“ и „б“ вручную.

в) вантовые деррики „Инслей“, грузоподъемностью 14 т — 4 шт.;

г) мотовозы „Дейц“ с платформами.

Оборудование, показанное в пунктах „в“ и „г“, использовано для наброски бетонных массивов и, следовательно, не имеет прямого отношения к приведенной выше норме.

11. Анализ хода работы по транспортировке и наброске камня на Нивастрое и Свирьстрое дают основание полагать, что приведенная в п. 9 максимальная норма, хотя и высока, но не является практическим пределом. Превышение этой нормы может явиться следствием дальнейшего глубоко продуманного и надлежаще организованного производственного процесса, опирающегося на тщательнейшую подготовку и резервы.

12. Требуется принимать меры, вполне гарантирующие от срыва пловучих средств и леса и навалки их на наброску или ряж моста.

13. С самого начала работ на реке следует применить надлежащую технику безопасности, без чего только в силу случайности можно избежать потерь человеческих жизней; в частности, необходимо дежурство в нижнем бьефе спасательной моторной лодки.

¹ О распределении подачи между водным и ж.-д. транспортом равно и как производительности в разные периоды — суждение можно вынести и из рассмотрения фиг. 23.

Construction of Dams and Other Structures by Dumping Stones into Flowing Water.—Design and Practice.

By *S. V. Isbash, Eng.*

Directly after the publishing by the writer of a book treating the subject of the construction method, consisting in dumping rock into flowing waters,¹ that method began to come into use in the USSR, not only as a casual construction trick, but as a regular, founded on science and research,—method for closure of watercourses and for building dams.

The following structures, built by means of the above mentioned method, may be noted here: two dams on the White Sea Canal, built in 1932 and 1933; cofferdamming of the Niva River for the construction of the Niva 2 hydroelectric plant; construction (in the middle of 1933) of huge rock-fill cofferdam for the Lower Svir hydroelectric plant (Leningrad District), where not only rock, but also concrete blocks weighing upwards of three tons each, were dumped into the water.

The Scientific Research Institute of Hydrotechnics carried out, under the direction of the writer, a series of observations and measurements at the Niva and Svir projects.

These observations excellently checked with the results of laboratory investigations and with data obtained theoretically, by means of the design methods, developed by the writer.

The results of field measurements were carefully analyzed; they served also for improving the design-schemes for the determination of experimental coefficients and revealed some additional factors, which ought to be taken into consideration. In accordance with the above, § 1 of the paper contains information regarding the development in the USSR of the construction by dumping rock into flowing water, together with opinions, regarding that method, of engineers, who were in charge of the works. § 2 is devoted to the description of the sequence of phenomena which take place when rock is being dumped into flowing water.

The basic problem of hydraulic design is also formulated in this paragraph. Stability of stones in the fill, subjected to the hydrodynamical forces developed by the flowing water,—is analyzed in § 3.

Flow of water over the rock-fill is treated in § 4.

§ 5 is devoted to the investigation of the percolation flow through the rock-fill.

The following § 6 contains the description of methods for computation of the first and second shapes of the rock-fill.

§ 7 deals with the computations of the third and fourth shapes of the rock-fill.

After the explanation of the design methods, auxiliary graphs and nomograms facilitating the calculations are given (§ 10).

Second part of the paper is devoted to the description of construction procedures at the Niva 2 (§§ 11, 12) and the Lower Svir (§§ 13, 14) hydroelectric plants.

Comparison of actual results with data obtained theoretically, is also made here. They checked quite satisfactorily.

In conclusion, some additional information is given, borrowed from practical experience.

¹ See: *S. Isbash, Construction of Weirs by Dropping Stones in Flowing Water*, published by the Scientific Research Institute of Hydrotechnics, Leningrad 1932.