

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ВОДОСНАБЖЕНИЯ, КАНАЛИЗАЦИИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГИДРОГЕОЛОГИИ

„ВОДГЕО“

В. С. ИСТОМИНА

КОСЫЕ ВОДОСЛИВЫ

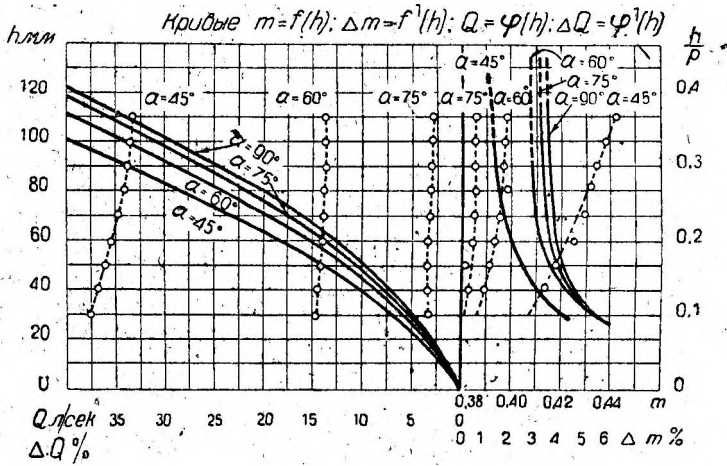


1934 • ОНТИ

ГОССТРОЙИЗДАТ

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСПРАВЛЕНИЯ ПО ВИНЕ АВТОРА

Страница	Строка	Напечатано	ледует читать
19		Рис. 14 неправилен,	Рис. 14 следующий оттиск
34	7 снизу	(по рис. 14)	клише ниже в исправлении
43	2 сверху	3,00%	(по рис. 10) 2,00%

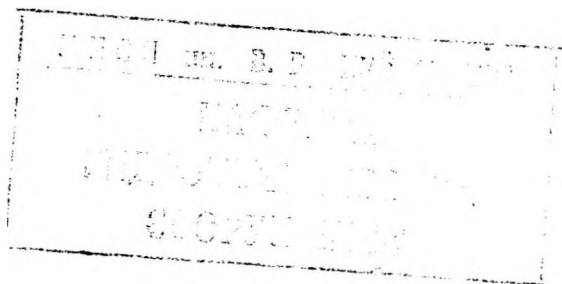


С С С Р • Н К Т П • Г Л А В С Т Р О Й П Р О М
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ВОДОСНАБЖЕНИЯ, КАНАЛИЗАЦИИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГИДРОГЕОЛОГИИ

„Водгео“

В. С. ИСТОМИНА

КОСЫЕ ВОДОСЛИВЫ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ И СУДОСТРОЕНИЯ
ГОССТРОЙИЗДАТ • ОНТИ • НКТП • СССР • 1934 • Москва — Ленинград

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стр.
Предисловие	5
Введение	8
Глава I.	
1 -я серия опытов — выход воды с водослива стеснен вертикальными стенками.	
А. Водосливы с тонкой стенкой.	
Описание установки	10
Производство опытов.....	13
Описание явления	14
Влияние косины водослива на коэффициент расхода.....	15
В. Водосливы практического профиля.	
Описание установки	21
Производство опытов.....	23
Описание явления	
Влияние косины водослива на коэффициент расхода.....	24
Влияние затопления на коэффициент расхода	30
Глава II.	
2-я серия опытов—выход воды с водослива не стеснен вертикальными стенками.	
А. Водосливы с тонкой стенкой.	
I. Водосливы с боковым сжатием	
Описание установки	36
Описание явления	
Коэффициент расхода.....	
II. Водосливы без бокового сжатия	
Описание установки.....	37
Описание явления	39
Коэффициент расхода.....	40

В. Водосливы практического профиля

Описание установки	44
Производство опытов.....	
Описание явления	
Коэффициенты расхода.....	47
Влияние затопления на коэффициент расхода.....	50

Глава III.

Исследование формы струн и распределение скоростей и давлений в сжатом сечении.....	51
--	-----------

Глава IV.

Вычисление точности кривых коэффициента расхода.....	55
А. Ошибка в измерении напора h	57
Б. Ошибка при измерении длины водослива по гребню b	60
В. Ошибка в измерении расхода Q	
Г. Ошибка в измерении высоты водослива	62
Выводы.....	66
Заключение	67
Табл. 1 - 12	69

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Исследование косых водосливов является первой работой в намеченной Институтом гидротехники и инженерной гидрогеологии серии экспериментальных исследований водосливов различных специальных форм и типов. Планом работ института предположено исследовать водосливы косые, практических форм, криволинейные (в том числе шахтные), боковые и др. Теоретических и экспериментальных данных о работе косых водосливов в мировой литературе чрезвычайно мало: можно указать лишь на работы Voileau (1854) и Aichel'я (1907). В результате этих работ появились таблицы поправочных коэффициентов в формуле нормального свободного водослива в зависимости от величины угла наклона гребня водослива к направлению движения потока.

Данные этих опытов не могут полностью удовлетворить практиков, несмотря на полную надежность полученных столь серьезными экспериментаторами результатов, прежде всего потому, что в обоих указанных случаях исследованию подвергались лишь водосливы в тонкой стенке, в то время как на практике косые водосливы встречаются либо в виде практических очертаний либо в виде широких порогов.

В настоящее время, в период широкого развития проектных и строительных работ в различных областях гидротехники, когда применение косых водосливов во многих случаях может оказаться чрезвычайно целесообразным и экономичным, выявление истинной гидравлической картины движения воды через косые водосливы становится необходимым.

Исследования инж. В. С. Истоминой и И. П. Розанова по испытанию косых водосливов проводились с целью проверки гидравлических условий работы водосливов как в постановке Voileau и Aichel'я, т. е. над моделями водосливов с тонкой стенкой в стеклянном лотке, так и в иных условиях—в лотке большей ширины с различными способами подвода и отвода воды с водослива. Кроме того были проведены в тех же условиях испытания косого водослива практического очертания (по типу водосливной плотины Сызранской гидроустановки). При этом проведение опытов с тонкими стенками имело главным образом методологический характер и позволило основные опыты с практическим

профилем водослива ставить уже в изученных и определенных условиях.

Обстановка работы была не вполне благоприятной. Отсутствие у Гидротехгеоинститута собственной лаборатории заставило производить опыты в лабораториях МИИТ и ВИСУ, приспособляясь каждый раз к различным условиям, размерам и типам лотков, величинам предельных расходов вод, методам измерений и т. д.

Малая мощность насосов обеих лабораторий (38 л/сек. в МИИТ и 80 л/сек. в ВИСУ) не позволила также поставить чрезвычайно желательную вторую серию опытов в более крупном (например вдвое большем) масштабе. Но и при этих неблагоприятных в общем условиях полученные результаты следует признать чрезвычайно интересными и важными.

Прежде всего можно констатировать, что при устройстве косых водосливов в канале (в условиях опытов Aichel') для водосливов с тонкой стенкой результаты опытов достаточно близко сходятся с опытами Aichel'я и показывают уменьшение коэффициента расхода с увеличением угла поворота гребня водослива. В. С. Истоминой составлен график процентного уменьшения коэффициента расхода, совмещенный с графиком процентного же увеличения полного расхода, связанного с увеличением длины водослива благодаря его косины. Пользуясь этими графиками, удобно подсчитывать действительный расход через косой водослив при любом угле поворота.

Испытания водосливов практического профиля в тех же условиях показывают в общем ту же картину, что и для тонкой стенки: уменьшение коэффициента расхода при увеличении угла поворота водослива. Поскольку полученные при этом данные характерны лишь для принятого профиля водослива и для других очертаний абсолютные величины коэффициентов, очевидно, будут изменяться, в отчете дан совмещенный график, аналогичный указанному выше для случая тонких водосливов и связывающий относительное увеличение расходов и уменьшение коэффициента расходов с отношением напора к высоте водо-

слива $\left(\frac{h}{p}\right)$.

Попутно при этом проверены условия затопления водослива ввиду того, что косые водосливы во многих случаях работают в затопленном состоянии. Проверка производилась путем выявления величины „коэффициента затопления“ σ_3 и сравнения полученных результатов с данными американских инженеров. Опыты показали, что коэффициент затопления не зависит или, вернее, практически не зависит от угла поворота водослива и что американские данные представляются несколько преуменьшенными для данного типа водослива. Таким образом можно заключить, что пользование американской таблицей поправочного коэффициента затопления приводит к некоторому запасу в расчете длины водослива.

Все вышеизложенное относится к косым водосливам, расположенным в канале при наличии стеснения выхода воды, продолжающимися в нижнем бьефе параллельными стенками лотка. Поскольку в гидротехнике подобное устройство встречается редко, вторая часть опытов посвящена испытанию косых водосливов с различными более благоприятными условиями отвода и подвода воды. При этом определенно установлено, что при отводе воды нормально к направлению водослива или при полном отсутствии каких-либо направляющих стенок и особенно при создании плавного подхода воды сверху с плавной снизу срезкой острого угла коэффициенты расхода косых водосливов равны коэффициенту расхода нормального водослива и что следовательно влияние косо́го водослива сказывается лишь при неблагоприятных условиях отвода и подвода воды с косо́го водослива и вызывается влиянием боковых стенок. Этот весьма важный для практики проектирования вывод дает также и определенные указания о мерах, которые следует применять, чтобы коэффициент расхода косых водосливов был не менее нормального.

Одновременно с этими основными задачами испытаний были проделаны также весьма интересные исследования скоростей и давлений в сжатом сечении струи, падающей с водослива. Опыты вполне подтвердили, что вывод инж. Scimemi „Sulle forma delle vene frascimanti“, сделанный им в отношении нормального водослива о сохранении принципа Бернулли в сжатом сечении, вполне приложим и к косым водосливам и что теоретические выводы проф. Сабанеева о давлении в струе водослива хорошо подтверждаются опытами.

Далее следует особо отметить интереснейшую и важную с методологической точки зрения работу, проделанную Н. П. Розановым о выявлении точности лабораторных исследований водосливов. Анализ всех возможных ошибок наблюдений приводит к важному выводу, что измерение расхода воды в наших лабораториях производится слишком неточными методами и ошибка в измерении расхода составляет главную долю (до 75%) средней суммарной ошибки наблюдений. Этим дается определенное указание проектировщикам гидротехнических лабораторий особое внимание уделить методам и возможностям точного измерения лабораторных расходов.

В заключение считаю долгом отметить, что, несмотря на указанные выше малоблагоприятные условия для производства опытов, вся работа, проведенная инж. В. С. Истоминой и Н. П. Розановым с большой тщательностью и любовью к делу, дала серьезные практические результаты и в значительной доле облегчила методологическую сторону последующих серий исследований водосливов специальных форм.

ВВЕДЕНИЕ.

Применение косых водосливов в практике гидростроительства очень велико. Цель их устройства может быть двойкой:

1) удлинение гребня водосливной плотины для увеличения пропускной способности (например Eselsrückwehr, Mac Call Ferry Aelfkarlely — косые; Nabra, Brillanne—комбинированные с нормальными, так называемые полигональные);

2) косые входы в каналы для улучшения забора воды (из-за наносов).

При проектировании их обычно принимают уменьшенные коэффициенты расхода по сравнению с нормальными водосливами по следующим данным ¹.

Таблица I

α	0	15°	30°	45°	60°	90°
Поправочный коэффициент $\frac{m_\alpha}{m}$. . .	0,80	0,86	0,91	0,94	0,96	1,00

Здесь α — угол поворота гребня водослива в плане (рис. 1); поправочный коэффициент — это та величина, на которую должен быть умножен коэффициент расхода нормального водослива для получения коэффициента расхода косого водослива. Настоящая таблица дается на основе немногочисленных опытов Буало², проведенных в середине прошлого столетия.

В более позднее время (1906—1907 гг.) косыми водосливами с тонкими стенками занимался Айхель ³, который дал в результате опытов ряд кривых, выражающих зависимость коэффициентов расхода косых водосливов от коэффициентов расхода нормальных водосливов. Аналитическая зависимость для поправочного коэффи-

¹ Астров, Гидравлика, 1911 г.

Есьман, Гидравлика, 1930 г.

² Voileau, Traité de la mesure des eaux courantes, 1854.

³ Aichel, Experimentelle Untersuchungen über den Abfluss des Wassers bei vollkommenen schiefen Überfallwehren, Mitteilungen über Forschungsarbeiten, H. 80.

циента $\psi = \frac{m_\alpha}{m}$ дается в следующем виде: $\frac{m_\alpha}{m} = 1 - \frac{n}{\rho}$, где

m_α — коэффициент расхода косо́го водослива, m — коэффициент расхода нормального водослива, h — напор над порогом водослива (рис. 2), значение ρ берется из табл. II.

Таблица II

a	15°	30°	45°	60°	75°	90°
При ширине канала 0,25 м . .	0,305	0,532	0,893	1,923	6,579	∞
При ширине канала 0,50 м . .	0,362	0,700	1,250	2,275	6,579	∞

Айхель указывает, что и для больших ширин лотков при определении ρ можно пользоваться таблицей, но при этом помнить, что она дает все же грубое приближение к действительности.

Несмотря на замечание Айхеля о возможности пользоваться результатами его опытов и при больших ширинах лотков, чем он испытывал, при проектировании большей популярностью пользуется табл. I.

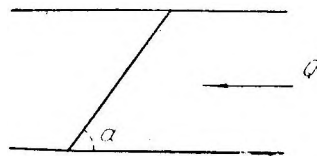


Рис. 1.

Ввиду неясности вопроса о расчете косо́х водосливов гидро-сектор Института сооружений, выделившийся в 1931 г, совместно с сектором гидрогеологии в самостоятельный институт Гидротехгео, поставил опыты по их изучению.

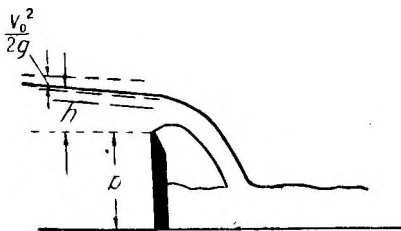


Рис. 2.

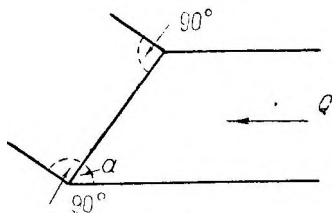


Рис. 3.

Настоящая работа имеет своей целью выяснение правильности принятых до сего времени расчетов при проектировании косо́х водосливов и разбивается на 2 серии:

1. Опыты над косо́ми водосливами, выход воды с которых стеснен вертикальными стенками (рис. 1) (условия опытов аналогичны условиям Буало и Айхеля).

2. Опыты над косо́ми водосливами, выход воды с которых нормален к гребню водослива (рис. 3).

Опыты как 1-й, так и 2-й серии производились для водосливов с тонкой стенкой и для водосливов практического профиля.

Работа по косо́м водосливам выполнена под руководством проф. А. Н. Ахутина.

1-я СЕРИЯ ОПЫТОВ—ВЫХОД ВОДЫ С ВОДОСЛИВА СТЕСНЕН ВЕРТИКАЛЬНЫМИ СТЕНКАМИ.

А. ВОДОСЛИВЫ С ТОНКОЙ СТЕНКОЙ.

Описание установки.

Опыты над косыми водосливами с тонкой стенкой производились в стеклянном лотке гидротехнической лаборатории б. МИИТ. План, фасад и разрез лотка даны на рис. 4, его вид—на фотографии рис. 5. Лоток имеет 6 м длины и 0,50 м ширины; стенки его выполнены частично бетонные, частично стеклянные (длина стекол в средней части лотка 3 м, рис. 4 и 5), дно железное. Бетонные стенки и дно покрыты слоем парафина для получения шероховатости их, более близкой к шероховатости стекла. Лоток питается насосной установкой с расходом $Q = 38$ л/сек. (максимальный, который мы получили во время наших опытов). Вода подается снизу головы лотка; успокоение перед мерным водосливом достигается вертикально поставленной мелкой решеткой, успокоение в лотке за мерным водосливом—наклонной решеткой и трубчатым успокоителем. Несмотря на систему успокоителей, успокоение недостаточно хорошо при больших расходах—свыше 15—20 л/сек. — как перед мерным водосливом, так и в начале лотка.

Расход воды в лотке определяется при помощи мерного водослива, устроенного в голове лотка. Тарировка мерного водослива была произведена двумя способами: 1) объемным при помощи мерного бака и 2) водосливом с тонкой стенкой, поставленным в лотке. Подсчеты расхода при тарировке водосливом

делались по новой формуле Ребока⁴ (1929 г.), $Q = 2,953 \mu_0 h_e^{3/2}$,

где $h_e = h_0 + 0,0011$; $\mu_0 = 0,6035 + 0,0813 \frac{h_e}{P}$; h_0 —напор; P —высота водослива.

Расходы, замеренные объемным способом, оказались меньше расходов, вычисленных по формуле. Это несовпадение объясняется плохим устройством отсекаателя при пропуске воды в бак и неудобством расположения лотка в узкой комнате, что затруд-

⁴ R e h o c k, Wassermessung mit scharfkantigen Überfallwehren „VDI“, 1929 г., № 24.

нило надлежащую установку мерного бака. Ввиду того что водосливы, с которыми работал Ребок и на основании чего дал свою формулу, по размерам близки к нашим—длина по гребню 0,50 м,

высота 0,30 м, — считаем, что следует принять тарировочную кривую мерного водослива, полученную вторым способом. В дальнейшем расходы воды в лотке определялись по этой кривой.

Модели водосливов, над которыми производились опыты, состояли из деревянной колодки *a* (рис. 6) и латунного щитка *b*. Щиток возможно было опускать и поднимать, тем самым менять высоту водослива от 0,26 до 0,32 м. Опыты производились для высот водосливов $P \approx 0,26$ м; 0,28 м; 0,30 м; 0,32 м. Углы поворота гребня модели к оси потока в плане были взяты $\alpha = 75; 60; 45^\circ$

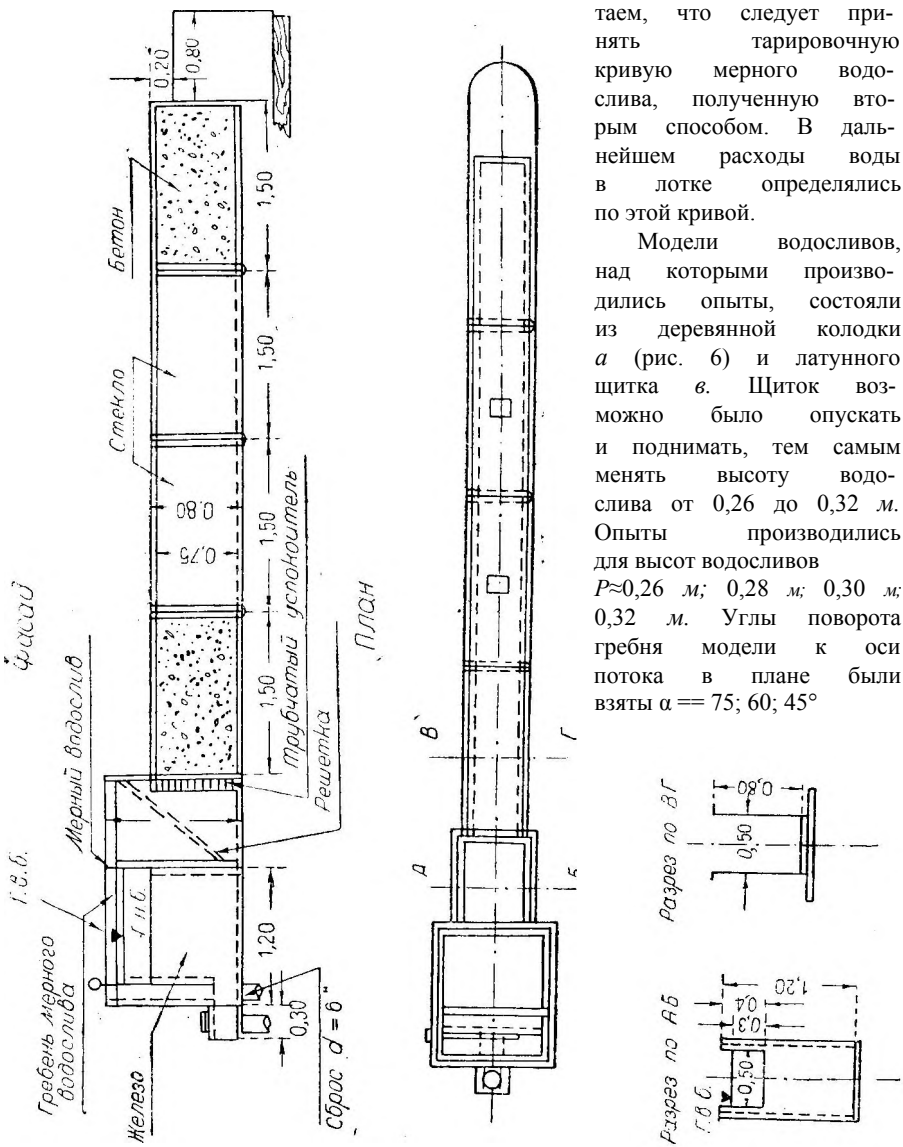


Рис. 4.

(см. схему расположения на рис. 7). Нормальный водослив $\alpha = 90^\circ$ принимался за основной, с которым и сравнивались все косые водосливы.

Модели испытывались как без бокового сжатия, так и с боковым сжатием. Об опытах с последними будет сказано в дальнейшем, здесь же даются водосливы без бокового сжатия.

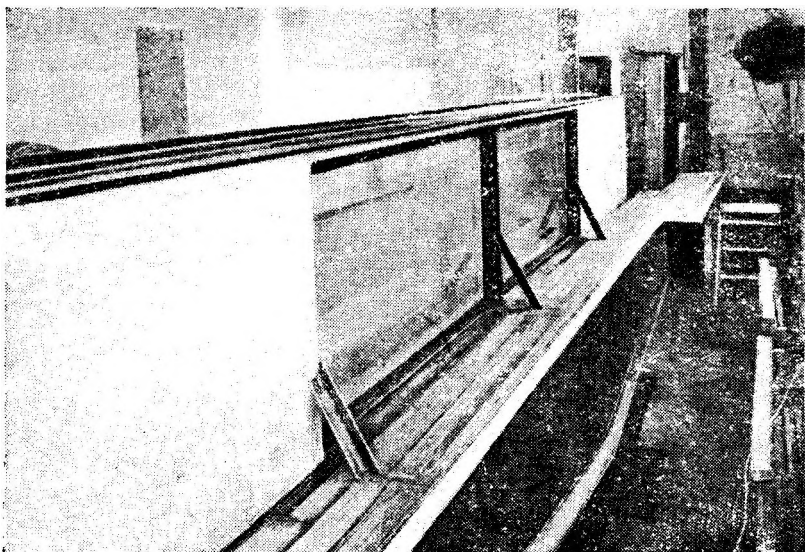


Рис. 5.

Для получения „свободной“ струи при водосливах без бокового сжатия под струю подводился воздух резиновыми трубками. Одним концом они укреплялись на деревянной колодке водослива, другой конец выводился из-под струи для сообщения с воздухом.

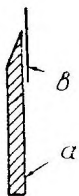


Рис. 6.

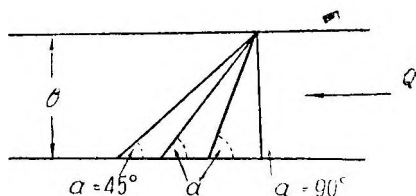


Рис. 7.

Контроль над давлением под струей осуществлялся при помощи манометра. Замеры горизонтов воды производились измерительными иглами (спицмаштабы) системы Кнеллер (малыми и большими) и иглами института, изготовленными в собственной мастерской.

Производство опытов.

Порядок производства опытов был принят следующий. Прежде всего брался отсчет по игле мерного водослива для определения расхода. Если по прошествии 3—5 мин. с момента пуска воды (регулирования задвижкой) показание иглы на мерном водосливе не изменялось при 2—3 установках ее, то расход считался установившимся, и начинали производить замеры на модели. После окончания опыта опять бралась отметка на мерном водосливе; если она разнилась от отметки в начале опыта не больше, чем на 0,2 мм, то расход во время опыта считался постоянным; если разница между начальной и конечной отметками была больше, чем 0,2 мм, то опыт переделывался. При продолжительности опыта больше 10—12 мин. замеры на мерном водосливе производились не только до начала и после опыта, но и несколько

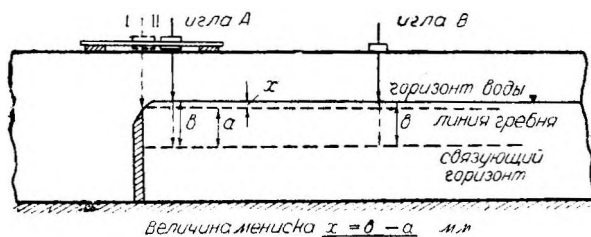


Рис. 8.

раз во время опыта в зависимости от продолжительности производимых замеров.

Напоры на модели определялись по четырем иглам, установленным в верхнем бьефе лотка. Первая из них стояла на расстоянии 450 мм от модели, расстояние между прочими было около 300 мм. Точность измерительных игл — 0,1 мм. Глубина на гребне замерялась одной иглой для водослива $\alpha = 90^\circ$ и от пяти до семи игл при прочих углах.

Кривая спада, т. е. горизонты воды участка от гребня до того места, где мерились напоры, фиксировалась замерами по пяти иглам.

Размеры моделей проверялись не меньше двух раз следующим образом. Длина гребня модели измерялась раздвижной линейкой с точностью отсчета 0,5 мм. Высота модели определялась как разность отметок дна и гребня модели. Точность замера отметки дна, а следовательно и высоты для водослива $\alpha = 90^\circ$ была 0,2 мм, для водосливов других α она колебалась от 0,5 до 2 мм из-за того, что покрытие парафином дна лотка около модели к концу опытов было попорчено. Отметки гребня модели по всем иглам устанавливались путем определения горизонта воды при наполненном верхнем бьефе и с поправкой на мениск.

Мениск определялся по схеме, изображенной на рис. 8. По игле А, укрепленной над гребнем модели на рейке с подвиж-

ным движком, бралась отметка гребня модели в положении *I*. Затем игла сдвигалась с гребня в сторону верхнего бьефа в положении *II*. Верхний бьеф наполнялся до некоторого горизонта ниже гребня модели, брались одновременно отметки по иглам *A* и *B*. Затем верхний бьеф наполнялся до гребня водослива и опять брались замеры по иглам *A* и *B*. Из полученных таким образом отметок находили значения: *a* — истинную отметку гребня модели, *b* — отметку гребня+мениск и величину мениска $X = b - a$.

Описание явления.

При протекании воды через косые водосливы, когда выход воды с водослива стеснен вертикальными стенками, наблюдаем следующие явления. Струйки воды, идя параллельно вдоль лотка, при подходе к косому водосливу изгибаются, стремясь перетечь через водослив нормально к его гребню, но не все из них этого достигают. Струйки, проходящие на высоте гребня, перетекают почти нормально к нему, поверхностные же отклоняются от нормали в сторону, стараясь приблизиться к направлению струй при подходе к водосливу. Донные же струйки стремятся пройти к тупому углу косого водослива, где частично перетекают через гребень, поднимаясь наклонно и вертикально по стенке водослива, частично же направляются по дну вдоль гребня, сбиваясь в острый угол. При увеличивающихся косине угла водосливов и расходах явление сбоя донных струй в острый угол наблюдается все более резко. Вдоль гребня по дну образуется не только ток, но небольшой вращающийся валец с горизонтальной осью; он одновременно имеет и поступательное движение от тупого угла к острому. При больших расходах появляются и исчезают вихревые шнуры, идущие вертикально и наклонно от дна лотка к гребню водослива. Наблюдаемое стремление струй пройти нормально к гребню при протекании через него в тупом углу встречает препятствие на своем пути — стенку лотка, что создает подпор в этом месте, который распространяется и вдоль гребня.

Величины глубин на гребне водослива неодинаковы, наблюдаемая разница не очень велика, но она тем больше, чем больше косина угла и расход. Так, при водосливе $\alpha = 45^\circ$ и расходе $Q = 5,05$ л/сек. глубина в остром углу на расстоянии 7,5 см от стенки лотка вдоль гребня $h_1 = 24,6$ мм, в тупом углу на том же расстоянии от стенки глубина $h_1' = 25,5$ мм; при расходе $Q = 26,75$ л/сек. в остром углу $h_1 = 65,4$ мм; в тупом $h_1' = 69,3$ мм.

Кроме образовавшегося подпора в тупом углу наблюдается еще характерное явление в остром углу водослива. Здесь образуется как бы мертвое пространство, где пушенная в воду краска собирается и медленно уходит через гребень, что указывает на меньшую работу острого угла по сравнению со всей длиной гребня водослива. Последнее ясно и из явления стрем-

ления к повороту поверхностных струи нормально к гребню. Все сказанное приводит к уменьшению рабочей длины водослива в остром углу.

Описанные характерные явления при протекании воды через косые водосливы — образование подпора в тупом углу и нерабочей части гребня в остром углу — должны отразиться на коэффициенте расхода водосливов в этих условиях, уменьшая их по сравнению с коэффициентом расхода нормальных водосливов, что и было обнаружено при определении коэффициента расхода.

Следует отметить еще, что при производстве опытов была обнаружена более короткая кривая спада при косых водосливах по сравнению с нормальными. Кроме того отношение средних глубин на гребне к напору увеличивается с увеличением косины угла.

Расходы на единицу длины водослива уменьшаются с уменьшением угла α , а также уменьшаются и средние скорости. Вследствие последнего струи принимают несколько иное положение, чем при нормальном водосливе, — они падают ближе к стенке водослива с увеличением косины.

Влияние косины водослива на коэффициент расхода.

Коэффициенты расхода водосливов определялись по формуле:

$$m = \frac{Q}{b\sqrt{2g h_0^{3/2}}},$$

где m — коэффициент расхода, освобожденный от учета скорости подхода; Q — замеренный расход на водосливе, b — длина гребня,

водослива, $h_0 = h + \frac{v_0^2}{2g}$ — напор с учетом скорости подхода (рис. 2).

Обычно для водосливов с тонкой стенкой в коэффициент расхода m включают и учет скорости подхода. Последнее не делалось в настоящем случае из-за того, что при меньших углах α и увеличении длины гребня скорость подхода значительно возрастает по сравнению с нормальным водосливом, что могло бы повлечь за собой ошибки в оценке коэффициента m .

Вычисленные по приведенной формуле значения коэффициента расхода m даны в табл. 1. Зависимость коэффициентов m от напоров представлена на рис. 9. Точки, отмеченные кружком, относятся к опытам с водосливами высотой $P = 0,30$ м, точки, отмеченные крестом, — к водосливам с $P \approx 0,26$ м. Как видно из рисунка, закономерности расположения их в зависимости от высоты не наблюдается. Это и вполне понятно, так как разность высот в 4 см по самой структуре формулы большого влияния на коэффициент расхода оказать не может. Результаты опытов с водосливами высотой $P \approx 0,28$ м и 0,32 м здесь не приводятся, так как они также не дают зависимости от высоты, а лишь загромождали бы график.

Полученная разбросанность точек зависит как от недостаточно хорошего успокоения воды в лотке по выходе из успокоителей, так и от способа замера расхода мерным водосливом.

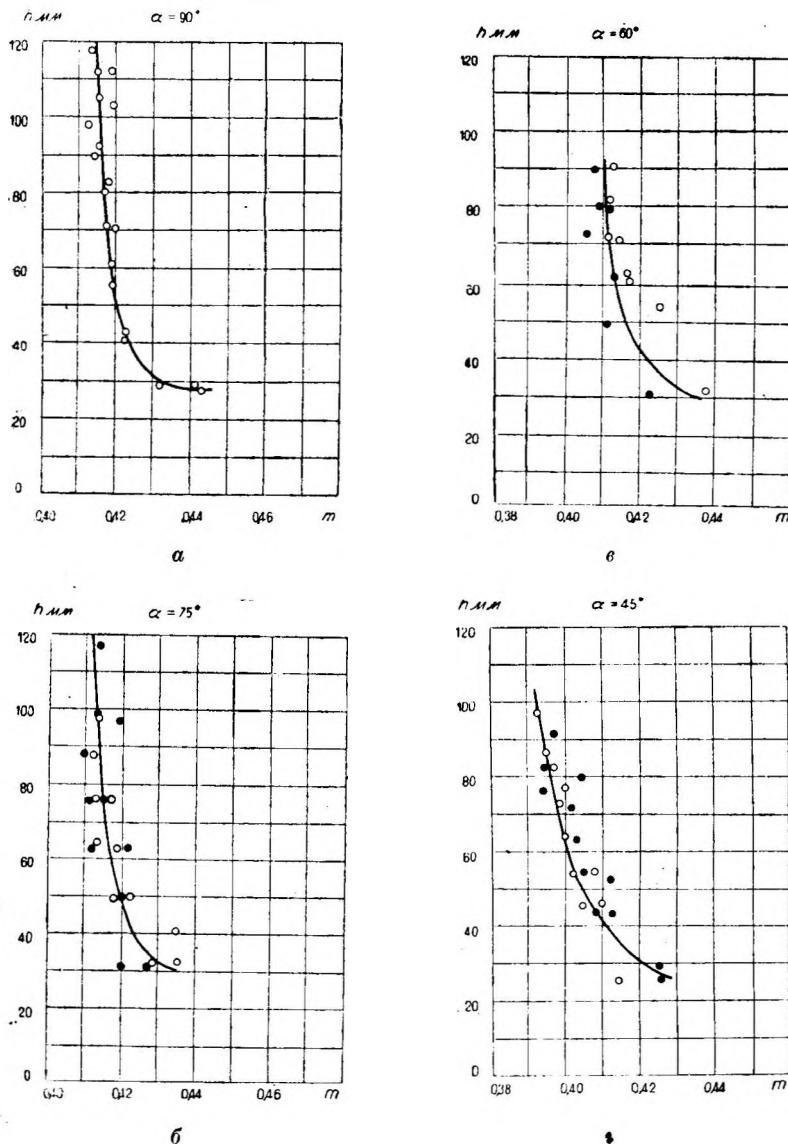


Рис. 9.

Последнего, т. е. определения расхода воды мерным водосливом, как показали опыты над косыми водосливами с тонкой стенкой и практического профиля, следует избегать, так как оно влечет за собой возможные значительные ошибки в оценке расхода,

что может составить при неблагоприятных условиях довольно большой процент (см. гл. IV об ошибках измерения)⁵.

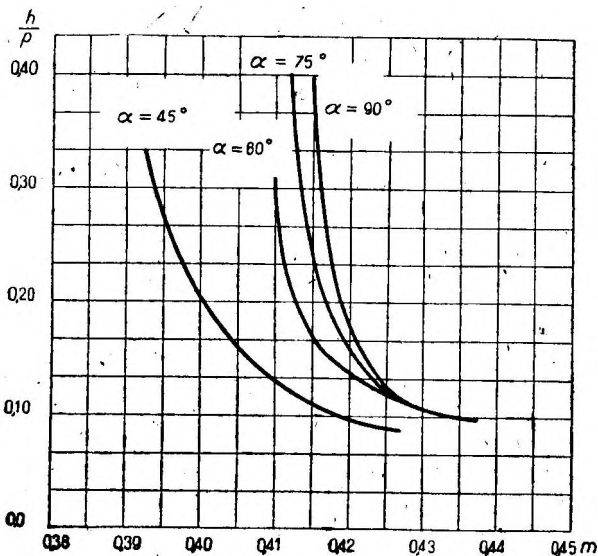


Рис. 10.

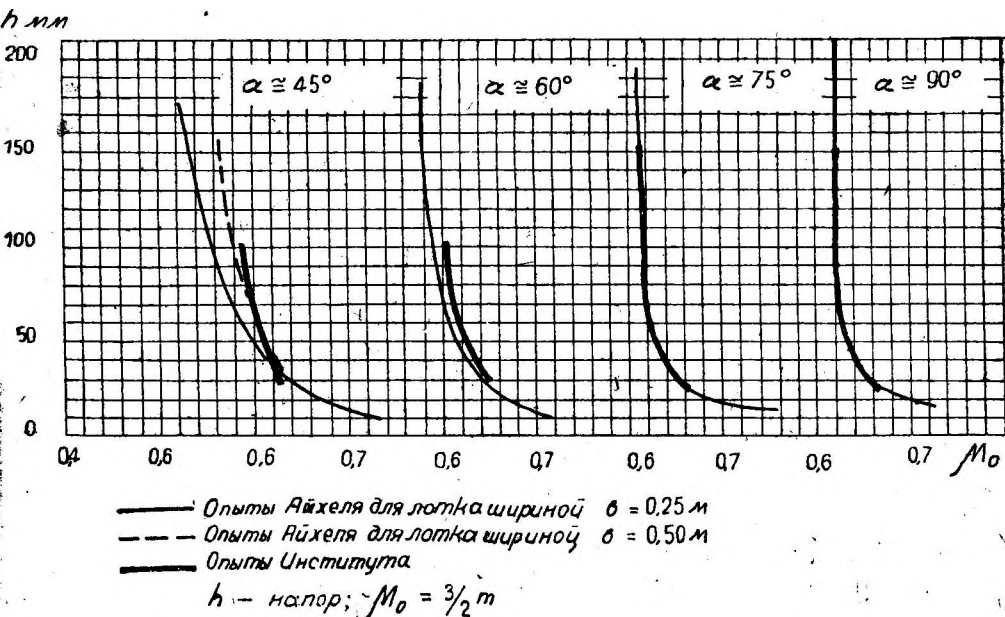


Рис. 11.

В случае отсутствия возможности замера расхода воды во время опытов объемным или весовым способом необходимо тарировку мерного водослива производить одним из вышеназванных приемов, что к сожалению сделано не во всех лабораториях Москвы и Ленинграда.

Нанесенные на график точки соединены кривыми, которые затем совмещены для сравнения (рис. 10). Из него видно, что с уменьшением угла α коэффициенты расхода m уменьшаются и тем больше, чем больше напор h и отношение $\frac{h}{p}$, т. е. получаем те же результаты, что Буало и Айхель.

п м м

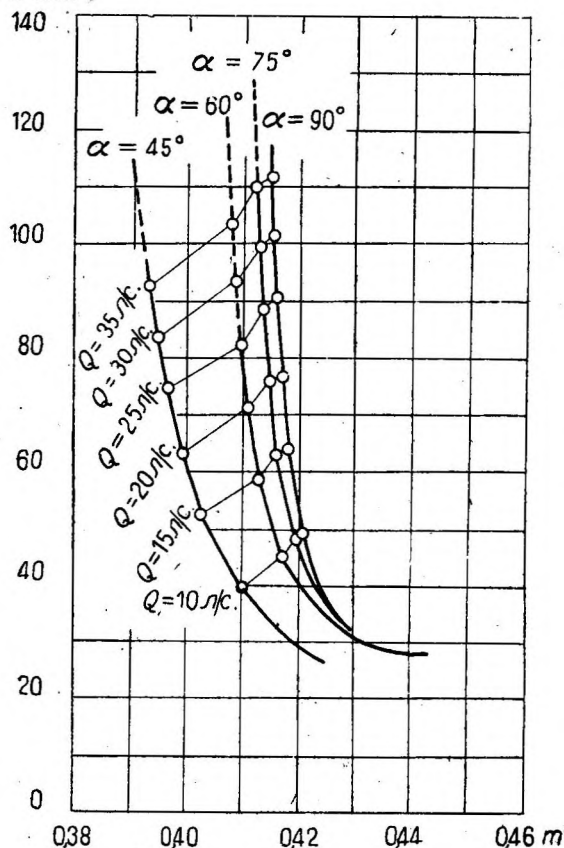


Рис. 12.

расхода с увеличением косины водослива все же не влечет за собой уменьшения пропускной способности косого водослива по сравнению с нормальным, а, наоборот, расход при одном и том же напоре увеличивается, что имеет большое значение для целей практики.

Об увеличении расхода можно судить по рис. 12, где на кривые $m = f(h)$ нанесены кривые равных расходов Q , и по рис. 13 зависимость $Q = f(h)$ для разных углов α .

⁶ Высота водослива им была взята $P = 0,25 \text{ м}$, ширина лотков $b = 0,50 \text{ м}$ и $b = 0,25 \text{ м}$.

Для сравнения результатов опытов с данными Айхеля ⁶ пересчитываем коэффициент расхода m на

$$\text{коэффициент } \mu_0 = \frac{3}{2} m$$

и наносим наши кривые на аналогичные кривые, полученные Айхелем (рис. 11). На графике кривые, проведенные толстыми линиями, получены нами, пунктиром и тонко—Айхелем. Кривые коэффициента расхода для $\alpha = 90^\circ$ и $\alpha = 75^\circ$ совпадают совершенно, для $\alpha = 60^\circ$ и $\alpha = 45^\circ$ они отличаются друг от друга. Установить точно, что повлияло на расхождение кривых наших опытов и опытов Айхеля—расходимость ли в углах или возможные ошибки в определении расхода, —не удалось.

Наблюдаемое уменьшение коэффициента

Для представления об уменьшении коэффициента m при заданном напоре в зависимости от величины α и об увеличении

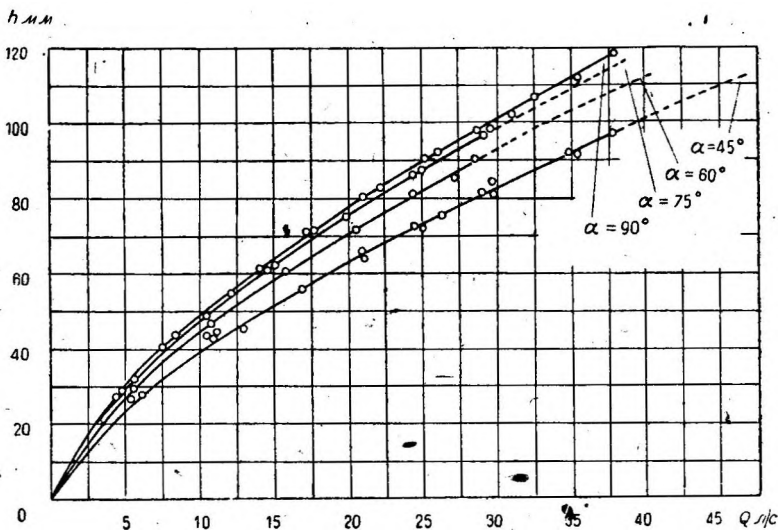


Рис. 13.

при этом расходе в количественном отношении составлен рис. 14. Он состоит из двух частей: 1) правой, где сплошными линиями

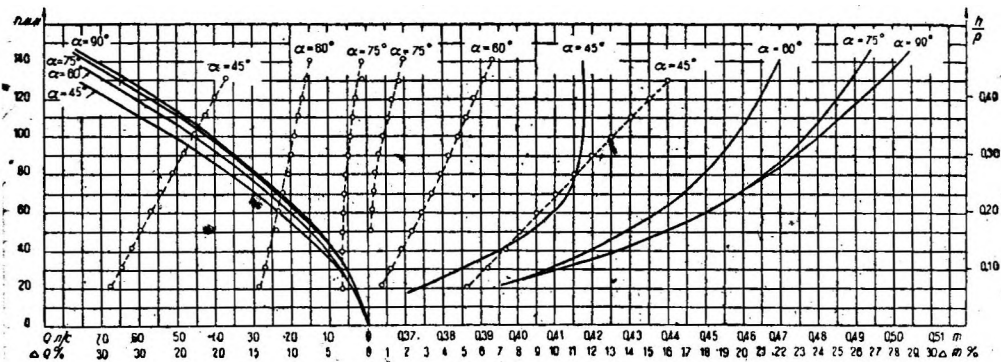


Рис. 14.

даны $m = f(h)$, пунктирными—процентное уменьшение коэффициента расхода $\Delta m \%$ (ось абсцисс) косых водосливов по сравнению с коэффициентом m нормального водослива $\alpha = 90^\circ$ —

— $\Delta m = f(h)$; 2) левой, где нанесены зависимости $Q = f(h)$ сплошными линиями и пунктирными линиями — процентное увели-

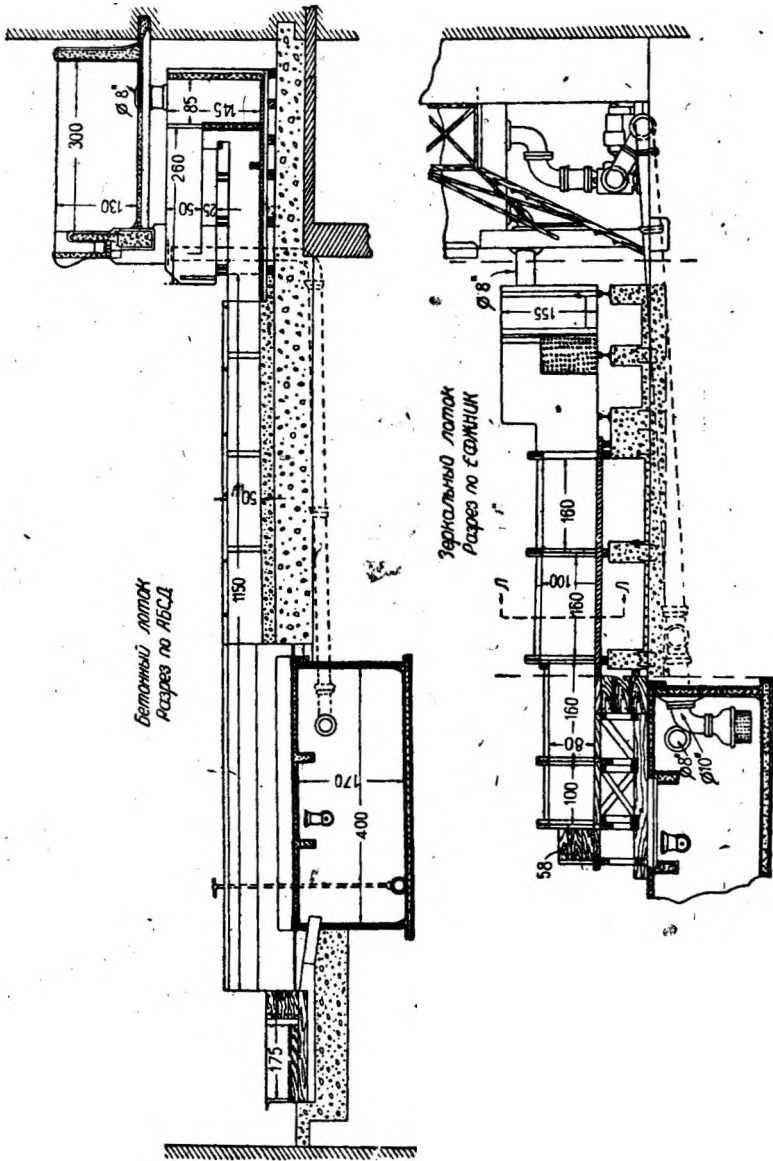


Рис. 15

чение расхода через косые водосливы по сравнению с нормальным— $\Delta Q = f(h)$.

По последнему графику можно легко и быстро судить как о коэффициенте m для данного случая, о процентном уменьшении Δm % косоого водослива, так и величине расхода и процентном увеличении ΔQ % по сравнению с нормальным.

Пример пользования графиком.

Пусть нам нужно найти тот расход, который пропустит косой водослив при $\alpha = 60^\circ$, а также величину коэффициента расхода m при напоре на водосливе $h = 80$ мм. По левой части рис. 14 находим, что расход $Q=24$ л/сек.; процентное увеличение расхода по сравнению с нормальным водосливом для этого же напора будет $\Delta Q = 13,50\%$. По правой части рисунка находим, что в этом случае коэффициент расхода $m = 0,4095$, процентное уменьшение коэффициента расхода по сравнению с нормальным водосливом $\Delta m \% = 3\%$.

Б. ВОДОСЛИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ.

Описание установки.

Опыты над косыми водосливами практического профиля производились в зеркальном лотке гидротехнической лаборатории ВИСУ. Размеры его следующие: длина — 6 м, ширина—0,60 м. Дно и рамы для стекол деревянные, поверх досок дно покрыто линолеумом. Максимальный возможный расход $Q = 80$ л/сек; вода подается трубой из напорного бака, успокоение воды достигается при помощи ряда решеток (см. чертежи лаборатории рис. 15 и 16).

При расходах выше 40 л/сек замеры горизонтов воды на мерном водосливе затруднительны из-за бурного течения воды, что конечно дало бы ошибки в определении больших расходов. Для

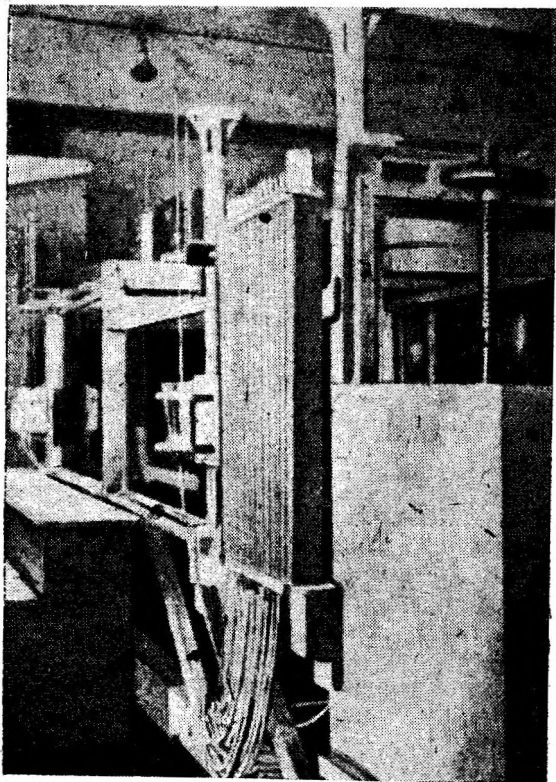


Рис. 16.

устранения возможности значительных ошибок при установке измерительной иглы на мерном водосливе горизонты на нем мерились в сосуде, сообщающемся с верхним бьефом мерного

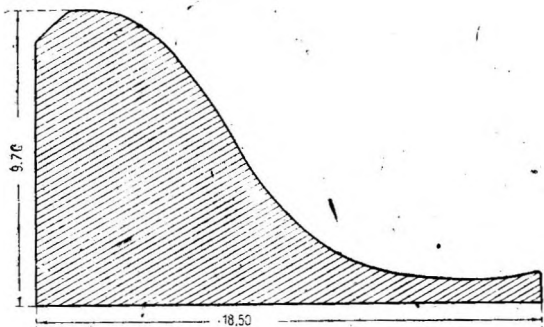


Рис. 17.

тины (рис. 17). Выбор такого профиля обуславливается возможностью сопоставления результатов лабораторных исследований (нормального водослива $\alpha = 90^\circ$) с испытаниями в натуре, произведенными секцией испытания сооружений гидросектора нашего института под руководством Н. М. Щапова на водосливе Сызранской гидростанции.

Но к сожалению точный профиль Сызранского водослива осуществить не удалось, горизонтальной площадки на гребне из фанеры не получилось, оголовок оказался описанным по плоской кривой, причем поднятие над горизонтальной площадкой было не больше 0,5 мм. Модели были сделаны высотой $P = 0,303$ м, масштаб по отношению к Сызранской плотине - $1/32$.

Углы поворота модели в плане брались такие же, как и у водосливов с тонкой стенкой: $\alpha = 90, 75, 60, 45^\circ$; нормальный водослив является основным, с которым и сравниваем все другие.

Модели при опытах стояли на расстоянии 4 м от успоко-

водослива. Таким устройством мы достигли колебания горизонтов не больше 0,4 мм при расходах выше 65 — 70 л/сек.

Испытываемые модели были изготовлены из дерева с покрытием водосливной и напорной граней фанерой и окрашены масляной краской. Профиль модели выбран Сызранской водосливной пло-

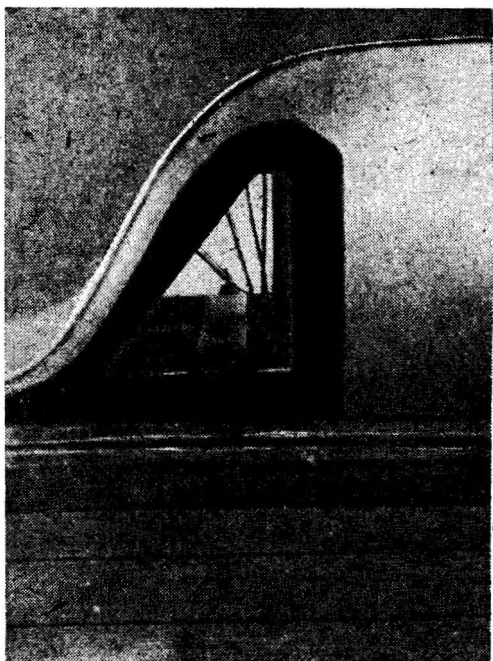


Рис. 18.

ителя в начале лотка. Фотография модели дана на рис. 18. Горизонты воды измерялись иглами лаборатории ВИСУ и института.

Напоры на модели и глубины нижнего бьефа при затопленных водосливах определялись в стаканах, сообщающихся с дном лотка, так как высота лотка 1 м не позволяла быстрой и удобной работы с иглами, укрепленными в лотке. Разность в отсчетах напоров в лотке и стаканах была максимум 0,3 — 0,4 мм в ту и другую сторону при расходах больше 40 л/сек, при меньших расходах расхождений не наблюдалось.

Производство опытов.

Порядок производства опытов был тот же, что и при опытах над водосливами с тонкой стенкой. Напоры на модели определялись по трем иглам и расчетным брался средний. Глубина воды на водосливе измерялась по игле, установленной на гребне. Определение отметок гребня модели по всем иглам производилось следующим образом. В конце лотка поднимался щиток, регулирующий глубину нижнего бьефа, на высоту, несколько большую высоты модели. Лоток заполнялся водой выше модели, бралась отметка связующего горизонта по всем иглам. Затем щиток опускался, воду спускали и по игле на гребне перечислялись отметки гребня на все иглы. Отметки связующих горизонтов брались 3 раза. Точность измерений: напоров — 0,2 мм, ширины лотка и длины гребня модели — 0,5 мм, высот моделей — 5 мм (из-за неровностей линолеума при определении отметки дна).

Описание явления.

Характер протекания воды через косые водосливы практического профиля наблюдался тот же, что и на водосливах с тонкой стенкой при соответствующих условиях стеснения выхода воды с водослива. Разница была лишь в том, что явление было более ярко выражено из-за больших расходов, которыми располагали при опытах над моделями практического профиля: $Q \approx 80$ л/сек против $Q \approx 30$ —38 л/сек для водосливов с тонкой стенкой.

Образование подпора в тупом углу водослива было еще более резко, разность в величинах глубин на гребне модели $\alpha = 45^\circ$ наблюдалась следующая: при расходе $Q = 29,40$ л/сек глубина на гребне в остром углу $h_1 = 49,5$ мм, в тупом $h_1' = 51,0$ мм; при $Q = 67,2$ л/сек в остром углу $h_1 = 83,8$ мм, в тупом $h_1' = 92,9$ мм.

В остром углу модели при уменьшении угла α наблюдалось увеличение нерабочей части гребня. Оба эти явления должны были привести, так же как и для водослива с тонкой стенкой, к уменьшению коэффициента расхода, что в действительности и было обнаружено при подсчетах.

Влияние косицы водослива на коэффициент расхода.

В результате измерений напоров и расходов, наблюдаемых на моделях при опытах, получили коэффициенты расхода m путем подсчетов по формуле:

$$m = \frac{Q}{b\sqrt{2g} h_0^{1.5}}$$

Величины их даны в табл. 2.

Зависимость $m = f(h)$ и $m = f' \left(\frac{h}{p} \right)$ изображена на графике рис. 19.

Из графика видно, что для одного и того же угла α коэффициенты расхода m растут с увеличением напора. Для нормального водослива ($\alpha = 90^\circ$) испытанного профиля коэффициенты расхода m растут в начале кривой довольно быстро по сравнению с напорами h , к концу кривой рост m с увеличением h замедляется. Но, несмотря на большие расходы $Q \approx 80$ л/сек, возможный максимум коэффициента расхода для этого профиля не был получен и он, очевидно, лежит далеко за пределами расходов, которыми располагает лаборатория.

Результаты исследования Сызранской плотины в натуре, произведенные гидросектором института, следующие:

при расходе $Q = 63,85$ м³/сек и высоте переливающегося слоя $h = 2,998$ м коэффициент расхода $m_1 = 0,463$;

при $Q_2 = 63,35$ м³/сек и $h_2 = 2,978$ м $m_2 = 0,463$.

Испытываемая в лаборатории модель была взята в масштабе $1/32$:

$$\begin{aligned} h_1' &= 0,0936 \text{ м}; & m_1' &= 0,4757; \\ h_2' &= 0,0930 \text{ м}; & m_2' &= 0,4755. \end{aligned}$$

Очевидно, из-за того, что испытанная в лаборатории модель не имела бычков, коэффициент расхода при лабораторных опытах оказался больше. Сравним опыты на Киококской плотине в натуре с быками и опыты в лаборатории с профилем плотины без бычков. Лабораторные опыты дали $m_n = 0,483$, принимая во внимание, что масштаб модели был взят 1:11, коэффициент расхода в натуре без бычков должен был бы быть по имеющимся наблюдениям над моделями разных масштабов ⁷ при одинаковых отношениях напоров к глубинам верхнего бьефа выше, чем в лаборатории. Коэффициенты расхода увеличиваются с увеличением масштаба модели (рис. 20), приводимой в вышеназванной работе Айзнера. Согласно рис. 20 можно ожидать увеличенных коэффициентов расхода против лабораторных опытов на 2%, т. е. для плотины в натуре без бычков должно быть

⁷ Eisner, Überfallversuche in verschiedener Modellgröße, Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik, 1931, H. 6.

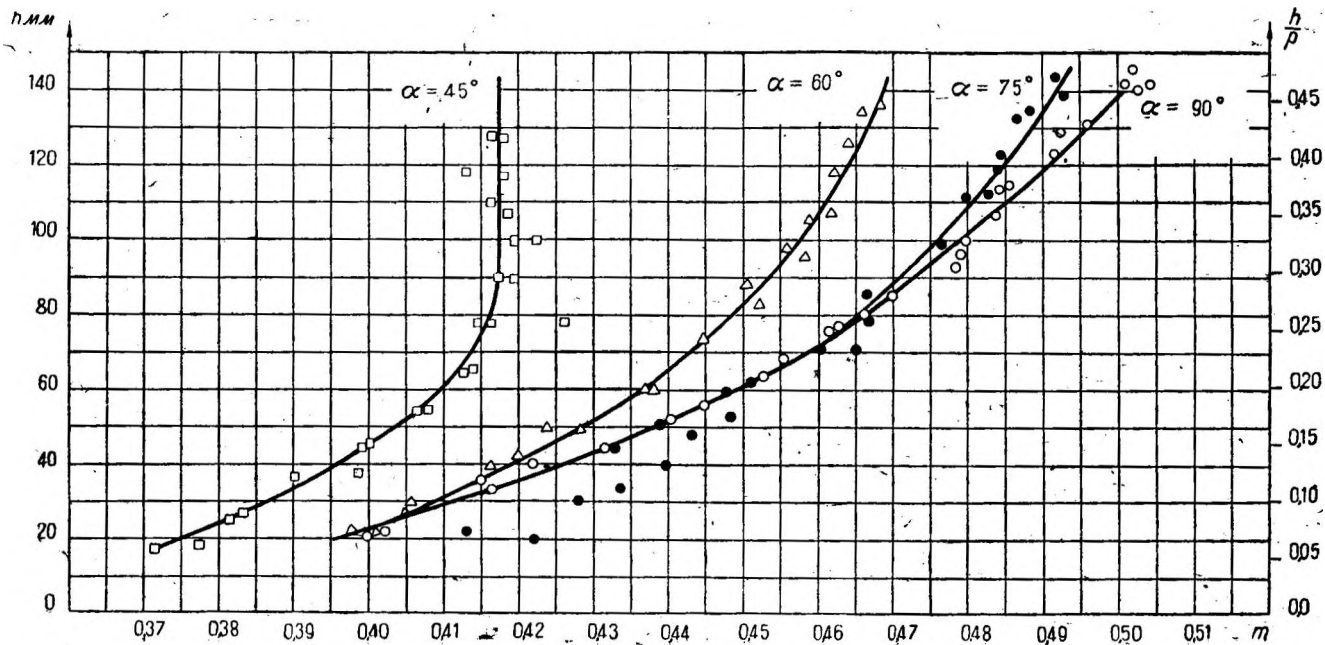


Рис. 19.

$$m_n = 0,483 \cdot 102 = 0,493.$$

т. е. уменьшение от бычков

В натуре с быками имеем $m_n^6 = 0,462,$

$$\frac{0,493}{0,462} = 6,8\%.$$

Результаты опытов для сызранского профиля без бычков в лаборатории дали коэффициент расхода $m_n = 0,4755—0,4757$. Принимая во внимание, что масштаб $1/32$ по Айзнеру должен дать для природы увеличение коэффициента расхода на 4%, для профиля в натуре без бычков должно быть $m_n = 0,4755 \times 104 = 0,495$. Считая, что на Сызранской плотине влияние бычков примерно будет то же, что и на Киококской, т. е. уменьшится на 6,8%, получим коэффициент расхода в натуре с бы-

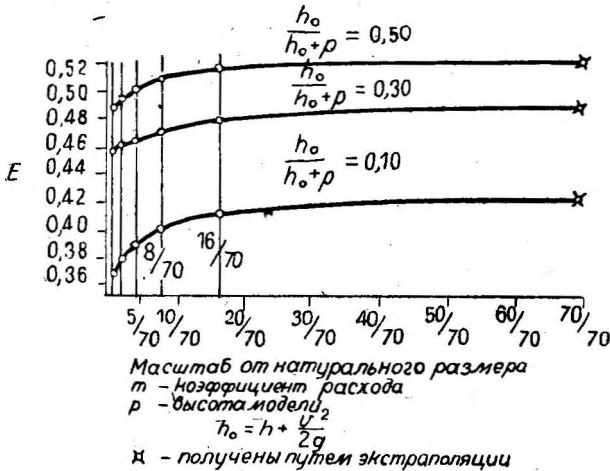


Рис. 20.

ками $m_n^6 = \frac{0,495}{106,8} = 0,463$, т. е. имеем коэффициент расхода, кото-

рый был получен при исследовании Сызранской плотины в натуре.

Характер зависимости m от h для $\alpha = 75, 60$ и 45° тот же, что и для $\alpha = 90^\circ$, лишь рост m с увеличением h более замедлен. Кривые коэффициентов расхода для $\alpha = 75^\circ$ и $\alpha = 60^\circ$, так же как и кривая для $\alpha = 90^\circ$, не имеют максимума в пределах тех напоров, которые наблюдались при опытах. Кривая коэффициентов расхода для $\alpha = 45^\circ$ имеет максимум уже в пределах наблюдавшихся напоров. Средний максимум коэффициента расхода для этой модели $m = 0,4177$ при напорах h от 105 до 130 мм.

При сравнении всех кривых коэффициентов расхода $\alpha = 90, 75, 60$ и 45° имеем, что при равных напорах h коэффициенты m уменьшаются с уменьшением α и тем больше, чем больше напор. То-есть при косых водосливах практического профиля получается та же картина изменения коэффициентов расхода, что и

для водосливов с тонкой стенкой в тех же условиях, разница лишь в численных значениях.

Зависимость пропускаемых расходов от напоров дана на рис. 21.

Для характеристики зависимости коэффициентов расхода не только от напоров, но одновременно и от расходов, построен график рис. 22, где на кривые m нанесены путем интерполяции с кривой $Q = f(h)$ линии равных расходов.

Очевидно, что при испытании водосливов других профилей получается также ряд кривых изменений коэффициентов расхода, причем при равных условиях выхода воды с водослива, отно-

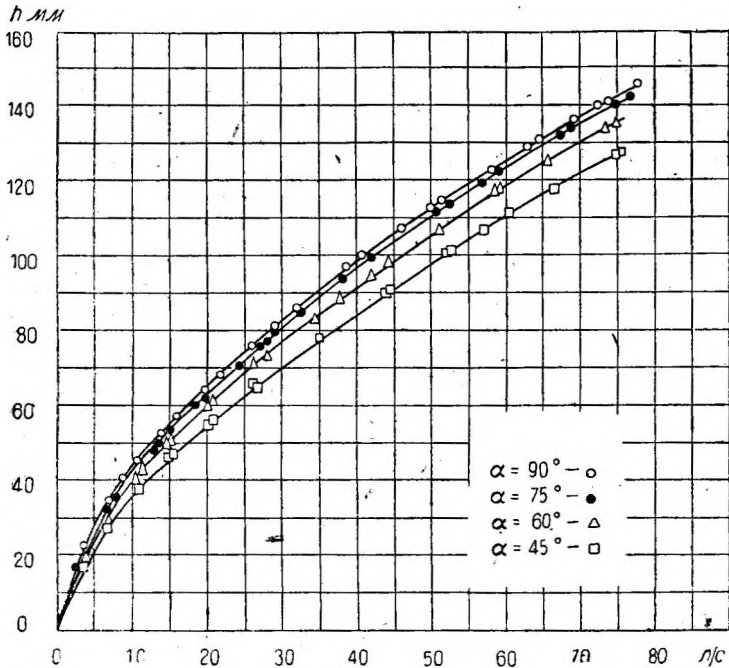


Рис. 21.

шений длины гребня к высоте модели $\frac{b}{p}$, отношений напора к высоте $\frac{h}{p}$ и углов α относительные изменения коэффициентов расхода должны быть примерно те же.

Для того чтобы иметь возможность пользоваться полученными результатами при водосливах другого очертания оголовка, необходимо иметь сравнение коэффициентов расхода косых водосливов хотя бы в процентах по отношению к нормальному. Последнее дано (аналогично тому, что было сделано для водосливов с тонкой стенкой, рис. 14) на рис. 23.

В правой части графика сплошными линиями даны кривые коэффициентов расхода, пунктиром — процентное уменьшение коэффициентов расхода косых водосливов по сравнению с нормальным. В левой части даются кривые расходов — сплошные

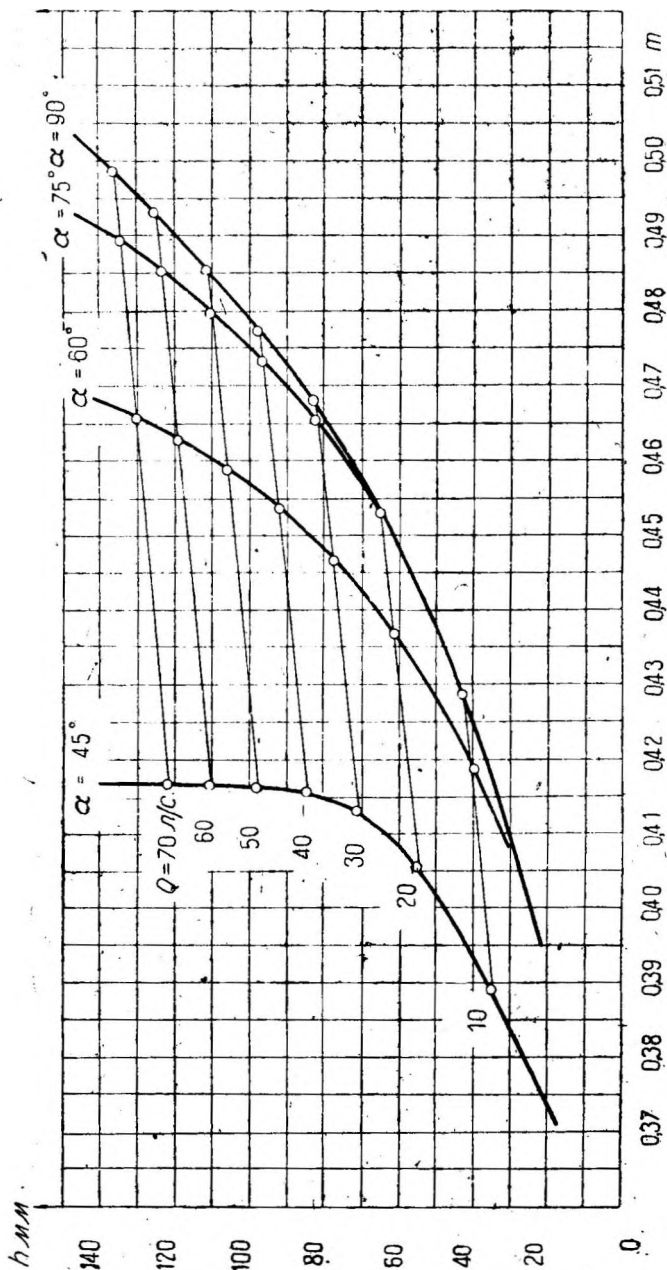


Рис. 22.

линии, процентное увеличение расхода через водослив—пунктирные. По оси абсцисс вправо отложены численные значения m и процентное уменьшение $m — \Delta m \%$. Влево по оси абсцисс —

расходы Q л/сек и процентное увеличение расходов— $\Delta Q \%$. По оси ординат слева отложены напоры h_{MM} , справа отношения напоров к высоте водослива $\frac{h}{p}$. Нанесение шкалы $\frac{h}{p}$ дает возможность более легкой ориентировки при нахождении нужных величин.

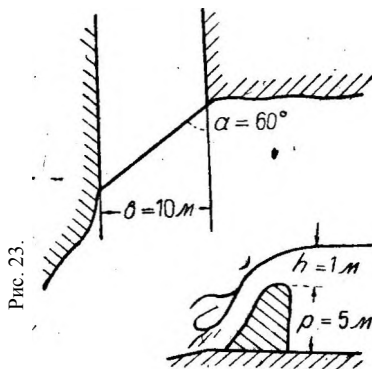
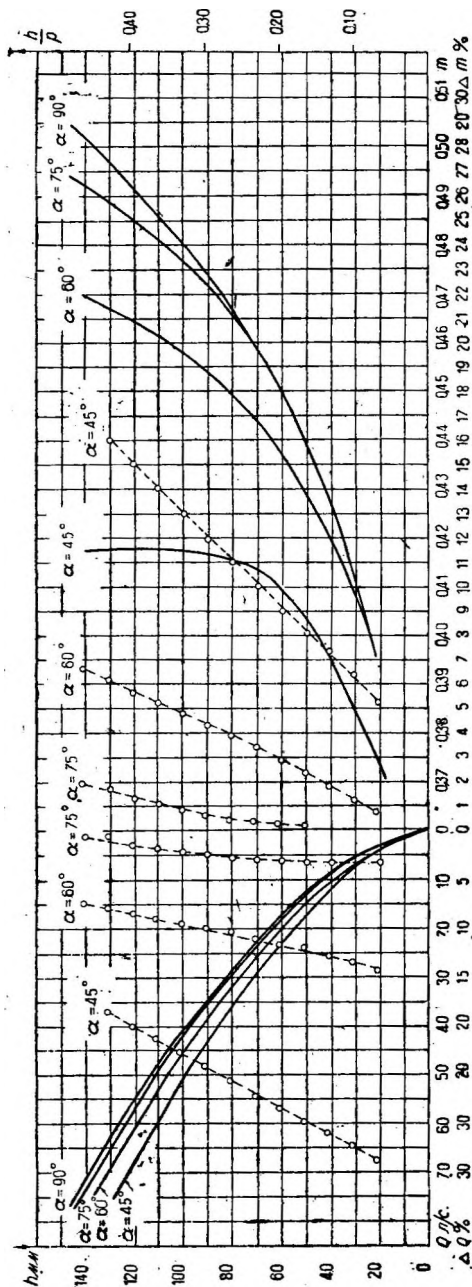


Рис. 23.

Рис. 24.

Пример пользования графиком. Пусть имеется косой вход в канал (рис. 24), причем стенки его за водосливом стесняют выход воды с гребня; длина проекции порога $b = 10$ м, высота Порога $p = 5$ м, возможный напор $h = 1$ м, угол косины $\alpha = 60^\circ$; коэффициент расхода данного профиля $m = 0,43$, нужно найти коэффициент расхода m_α для входа и расход.

Сначала проверяем отношение $\frac{b}{p}$; для заданного

примера $\frac{b}{p} = 2$; для наших опытов близкое к этому соотношение $\frac{0,603}{0,303} \approx 2$. Затем найдем отношение $\frac{h}{p} = 1/5 = 0,20$; по правой части

рис. 23 определяем процентное уменьшение коэффициента расхода $\Delta m = 2,8\%$ (в таблице же, приводимой в курсах гидравлики, $\Delta m = 4\%$); по левой части—процентное увеличение расхода $\Delta Q = 12\%$. Зная, что для нормального порога $m = 0,43$, найдем коэффициент расхода для данного входа $m_{60^\circ} = m_{90^\circ} \cdot 0,972 = 0,43 \cdot 0,972 = 0,4175$; расход будет равен:

$$Q_{60^\circ} = \Delta Q_{90^\circ-60^\circ} \cdot Q_{90^\circ} = \Delta Q_{90^\circ-60^\circ} \cdot m b h^{3/2} \sqrt{2g} = 1,12 \cdot 0,43 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 4,43 = 21,4 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Влияние затопления на коэффициент расхода.

В большинстве случаев практики косые водосливы (входы в каналы) бывают затопленными, а поэтому важно изучение влияния его на коэффициент расхода.

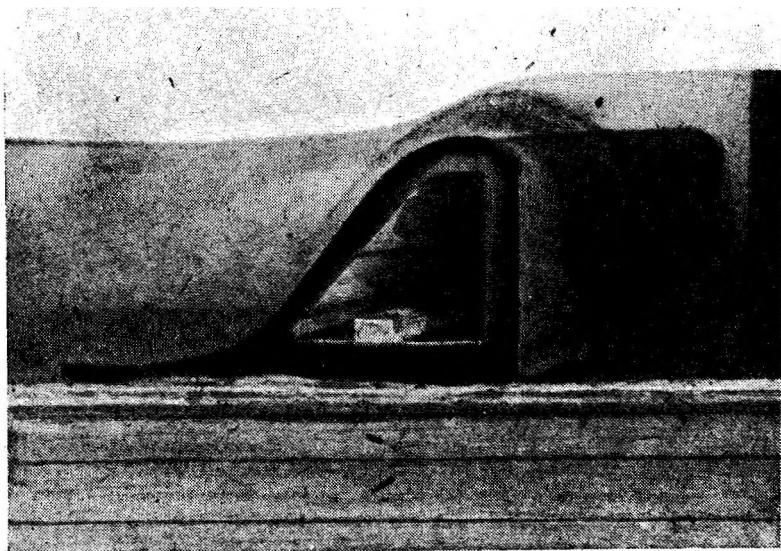


Рис. 25.

Затопление водосливов при опытах производилось помощью поднятия нижнего щитка в конце лотка.

Картина, наблюдаемая при затоплении косых водосливов, была аналогична той, которая наблюдается и для водосливов нормальных (см. описание опытов над затопленными водосливами Ребока).

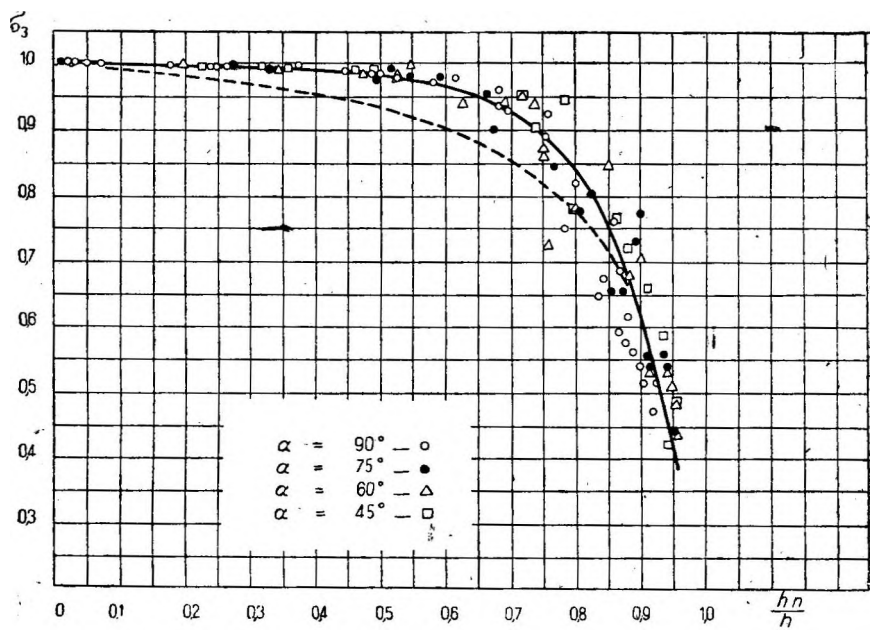


Рис. 26.

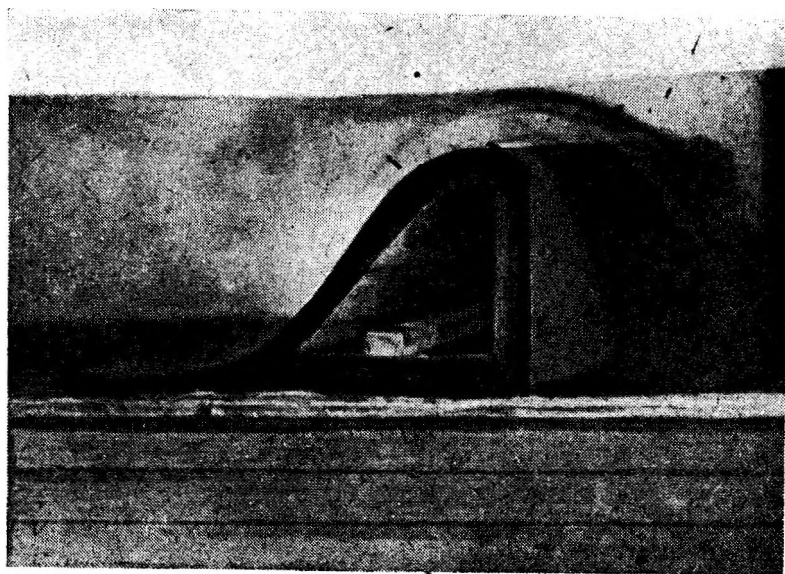


Рис. 27.

Первая стадия затопления косого водослива дана на рис. 25. В этом случае главный ток воды идет по дну нижнего бьефа. При этом коэффициент расхода водослива постепенно уменьшается с увеличением затопления (верхняя часть рис. 26).

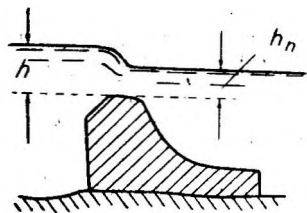


Рис. 28.

Вторая стадия — образование волнистой струи и главного тока воды по поверхности, — дана на рис. 27.

При переходе гладкой струи в волнистую происходит резкое уменьшение коэффициента расхода — правая часть графика рис. 26.

Величины коэффициентов расхода при затопленном водосливе, полученные из опытов, даны в табл. 3. Коэффициент расхода при затопленном водосливе обозначаем:

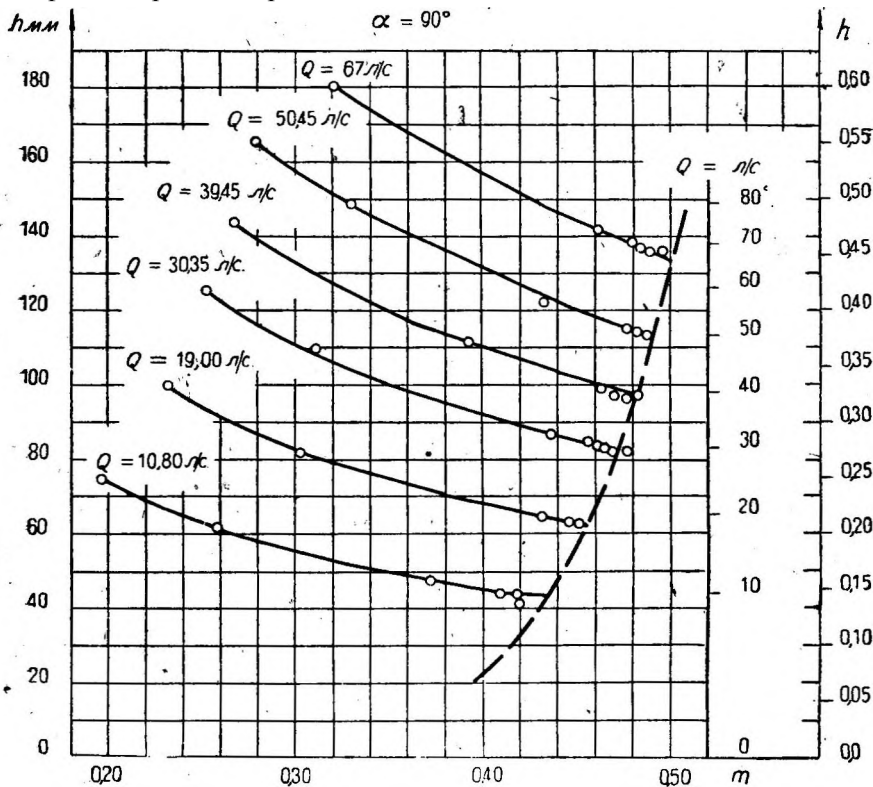


Рис. 29.

коэффициент затопления:

$$m' = \frac{Q}{b\sqrt{2g}h_0^{3/4}};$$

$$\sigma_3 = \frac{m'}{m},$$

где m — коэффициент расхода для незатопленного водослива при том же расходе.

Влияние затопления на коэффициент расхода дано на рис. 26. Здесь по оси абсцисс отложены величины относительного за-

топления $\frac{h_n}{h}$ (рис. 28), по оси ординат коэффициенты затопления σ_3 .

Оказывается, что косина расположения водослива не влияет на коэффициент затопления. Величины σ_3 при одинаковом отно-

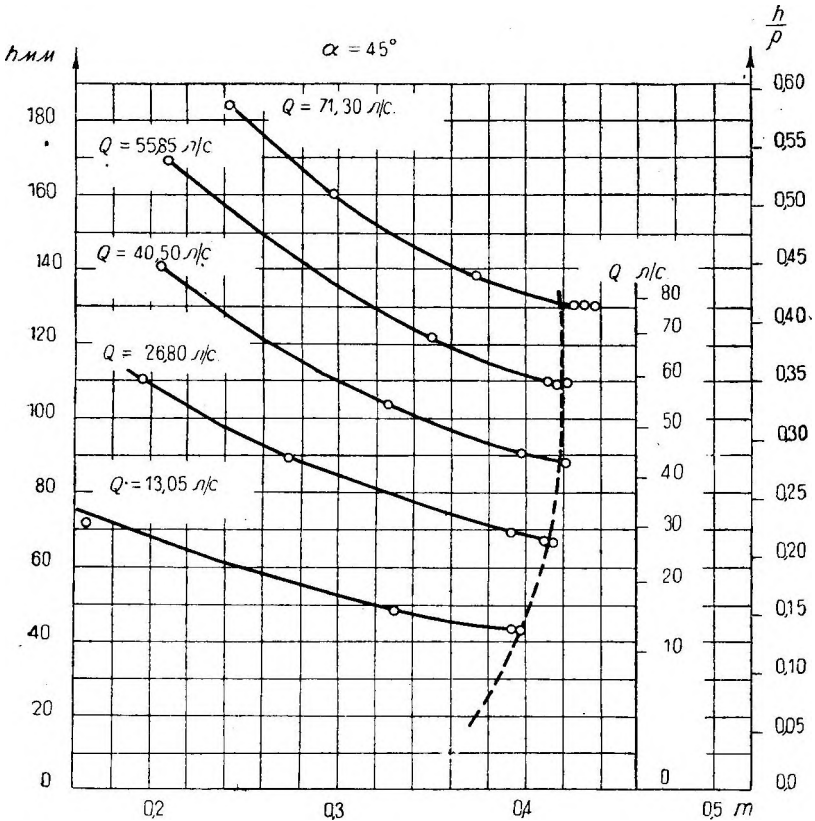


Рис. 30.

сительном затоплении $\frac{h_n}{h}$ для всех углов $\alpha = 90, 75, 60, 45^\circ$

дают одну и ту же зависимость — сплошная кривая. Кривая, проведенная пунктиром, представляет собой зависимость, данную американскими инженерами⁸.

Из рис. 26 видно, что американские данные преуменьшают значения σ_3 , чем дается некоторый запас в расчетах, наибольший около 6,5%.

⁸ S t e a g e r, Engineering for masonry dams, 1929.

Н. Н. Павловский, Гидравлический справочник, 1924 г.

На рис. 29 и 30 даем изменения коэффициентов расхода для незатопленного водослива m и затопленного m' в зависимости от напоров h . Для случаев нормального водослива $\alpha=90^\circ$ и для косо $\alpha=45^\circ$.

По оси абсцисс отложены m и m' , по оси ординат h . Линии, проведенные пунктиром, представляют собой кривые коэффициентов расхода для незатопленного водослива. Кривые, проведенные сплошными линиями, показывают изменение коэффициентов

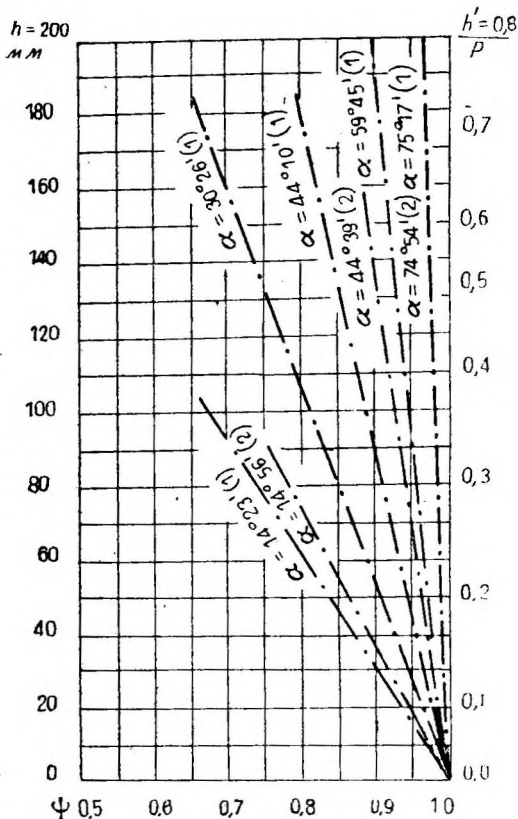


Рис. 31.

расхода при затопленном водосливе для одних и тех же расходов. Для нормального водослива $\alpha = 90^\circ$ проведены кривые расходов $Q = 67,00$ л/сек, $50,45$. . . $10,80$ л/сек. Для косо $\alpha = 45^\circ$ проведены кривые расходов $Q = 71,30$ л/сек $55,85$; . . . $13,05$ л/сек.

Эти кривые интересны по характеру изменения коэффициентов m и m' , которые образуют почти ортогональную сетку.

В заключение этой главы следует сравнить результаты наших опытов, опытов Айхеля, Буало и принимаемые при проектировании коэффициенты уменьшения для косых водосливов, даваемые в курсах гидравлик (см. табл. I введения).

По нашим опытам над водосливами с тонкой стенкой для $\alpha = 45^\circ$ (по рис. 14) имеем при отно-

шении $\frac{h}{p} = 0,20$
 $\Delta m = 4,25\%$

процентное уменьшение коэффициента расхода следовательно поправочный коэффициент уменьшения

$$\psi = \frac{m_{45^\circ}}{m_{90^\circ}} = 0,9575,$$

при $\frac{h}{p} = 0,30$ $\Delta m = 5,50\%$, $\psi = 0,9450$.

В этих опытах отношение ширины лотка к высоте водослива

было $\frac{b}{p} = \frac{0,50}{0,30} = 1,7$.

Для водослива практического профиля для того же α (рис. 23)

при

$$\frac{h}{p} = 0,20; \quad \Delta m = 9,20\%; \quad \psi = 0,9080;$$

при

$$\frac{h}{p} = 0,30; \quad \Delta m = 12,20\%; \quad \psi = 0,8780.$$

В этих опытах отношение $\frac{b}{p} = \frac{0,600}{0,303} \approx 2.$

По данным Айхеля (график рис. 31) (взяты из вышеназванной работы Айхеля) имеем:

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } \frac{h}{p} = 0,20 \quad \psi = 0,9400 \\ \text{„ } \frac{h}{p} = 0,30 \quad \psi = 0,9200 \end{array} \right\} \text{при этом } \frac{b}{p} = \frac{0,25}{0,25} = 1;$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{„ } \frac{h}{p} = 0,20 \quad \psi = 0,9700 \\ \text{„ } \frac{h}{p} = 0,30 \quad \psi = 0,9500 \end{array} \right\} \text{„ } \frac{b}{p} = \frac{0,50}{0,25} = 2.$$

По данным Буало при $\alpha = 45^\circ$ для любых отношений

$$\psi = 0,942 \quad \text{при} \quad \frac{b}{p} = \frac{1,263}{0,434} = 2,81.$$

По таблице, даваемой на основе опытов Буало, для всех отношений $\frac{h}{p}$ принимается с запасом по сравнению с его опытами $\psi = 0,94$.

Как видно из приведенных величин, опытные значения поправочных коэффициентов очень разнообразны и в некоторых случаях (например для водосливов практического профиля) могут быть меньше принимаемых при проектировании. Следовательно в тех случаях практики, когда выход воды с водослива стеснен вертикальными стенками, длина водослива, полученная путем подсчета, может оказаться меньшей, чем нужно для пропуска расхода.

Ввиду того что косые водосливы со стесненным выходом воды редко встречаются на практике, считаем ненужным в общем случае ставить опыты для выяснения зависимости поправочного коэффициента ψ не только от угла косины α , но и от

отношения ширины лотка к высоте водослива $\frac{b}{p}$; по имеющимся

же данным такой зависимости найти нельзя.

Настоящие данные показывают, что для каждого подобного отдельного случая необходимы специальные опыты для уверенности в работе сооружения.

2 я СЕРИЯ ОПЫТОВ—ВЫХОД ВОДЫ С ВОДОСЛИВА НЕ СТЕСНЕН ВЕРТИКАЛЬНЫМИ СТЕНКАМИ.

А. ВОДОСЛИВЫ С ТОНКОЙ СТЕНКОЙ.

1. ВОДОСЛИВЫ С БОКОВЫМ СЖАТИЕМ.

Описание установки.

Опыты над косыми водосливами в тонкой стенке с боковым сжатием были поставлены в стеклянном лотке гидротехнической лабораторией МИИТ (см. главу 1).

Высоты моделей брались $p = 0,30$ м и $p = 0,26$ м, углы $\alpha = 90, 60, 45^\circ$.

Производство опытов то же, что над водосливами с тонкой стенкой без бокового сжатия (см. главу 1).

Описание явления.

Протекание воды через косые водосливы с боковым сжатием (выход воды с гребня не стеснен вертикальными стенками)



Q — длина гребня модели
 b — ширина лотка

Рис. 32.

ничем не отличалось от протекания через нормальный водослив. Разницы в глубинах на гребне не было, не было причины для создания подпора в тупом углу (см. схему на рис. 32 и 33). В соответствии с характером протекания и коэффициенты расхода косых водосливов не отличались от коэффициентов расхода нормального водослива.

Коэффициент расхода.

Коэффициенты расхода определялись по формуле

$$m = \frac{Q}{b\sqrt{2gh_0^3}}$$

величины их приведены в табл. 4. Они даны для водосливов высотой $p = 0,30$ м; результаты опытов для $p = 0,26$ м не приводятся по той же причине, что и для водосливов без бокового сжатия.

Табличные значения коэффициента расхода, нанесенные на график, изображены на рис. 34, для всех углов: $\alpha = 90, 60$ и 45° . Через полученные точки можно провести лишь одну кривую, что показывает отсутствие влияния косины водослива на коэффициент расхода в этих условиях.

II. ВОДОСЛИВЫ БЕЗ БОКОВОГО СЖАТИЯ.

Описание установки.

Опыты над косыми водосливами с тонкой стенкой без бокового сжатия, но с отводом воды, нормальным к гребню модели (схему расположения см. на рис. 35), были поставлены в бетонном лотке гидротехнической лаборатории ВИСУ. Длина лотка 12 м, ширина 1,7 м, высота стенок 0,5 м, план и разрез лотка даны на рис. 15 (см. конец книги).

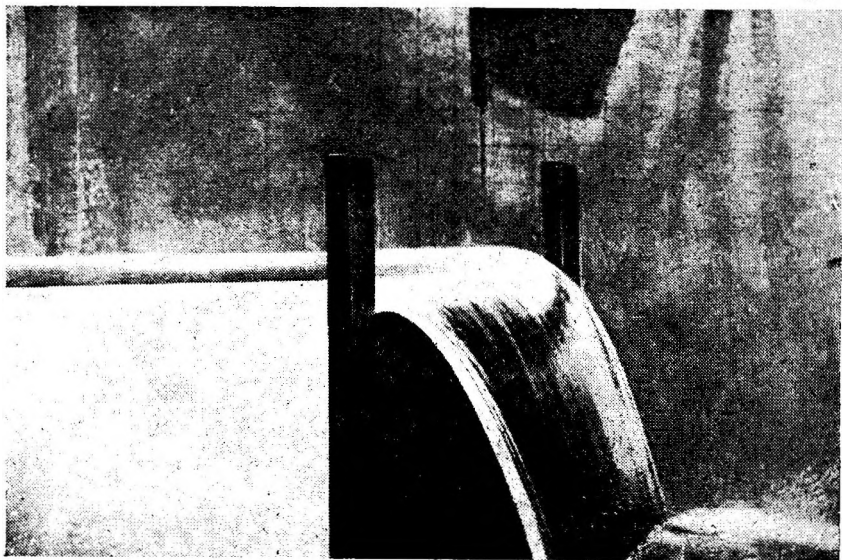


Рис. 33.

Расходы воды в лотке определяются при помощи мерного водослива. Подвод воды к нему несимметричен и течение неспокойное. Напоры измеряются в сосуде, сообщающемся с верхним бьефом мерного водослива с двух сторон его для устранения влияния несимметричного подвода.

Колебания горизонтов при расходах выше 40 л/сек доходят до 0,8 мм. Тарировка мерного водослива производилась мерным баком до расхода 40 л/сек, а на расходы большие, водосливом, поставленным в лотке, подсчеты велись по формуле Ребока (1929 г.). Конструкция модели была взята такая же, как при предыдущих опытах с тонкой стенкой. Высота моделей $P = 0,304$ м углы $\alpha = 90$ и 45° .

Нормальный водослив $\alpha = 90^\circ$ был испытан при трех ширинах $b = 0,304, 0,598, 1,004$ м.

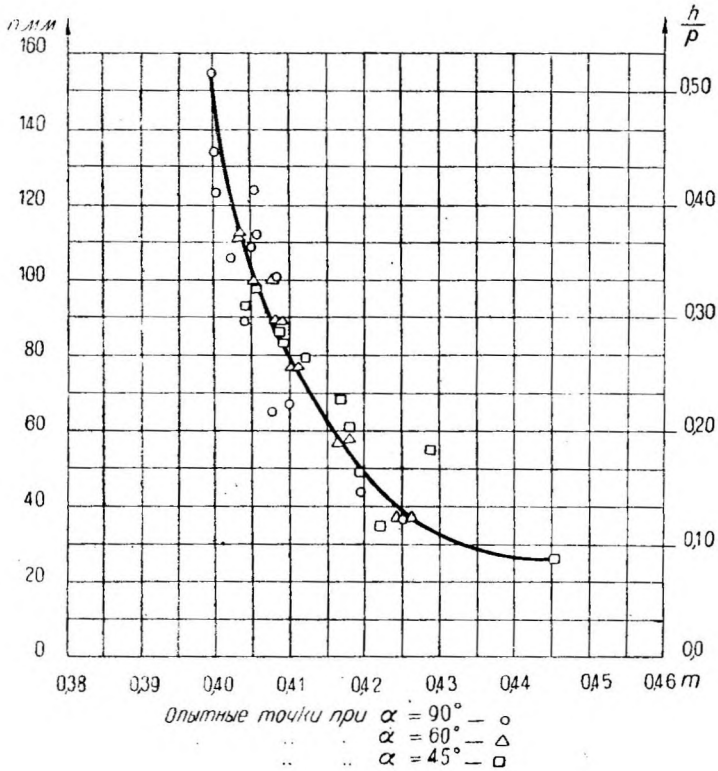


Рис. 34.

Испытания косого водослива $\alpha = 45^\circ$ производились при разных условиях отвода и подвода воды.

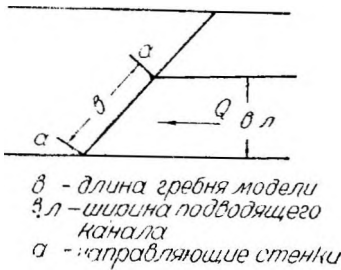


Рис. 35.



Рис. 36.

- Отвод воды осуществлялся: 1) при двух направляющих стенках в нижнем бьефе, поставленных нормально к гребню (рис. 35); 2) при одной стенке, поставленной в тупом углу (рис. 36); 3) без направляющих стенок (рис. 37).

Подвод воды во всех трех случаях отвода был обычный без дополнительных устройств в верхнем бьефе. При третьем слу-

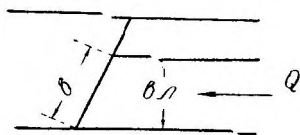


Рис. 37.

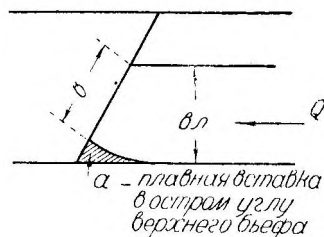


Рис. 38.

чае отвода, т. е. без направляющих стенок в нижнем бьефе, подвод воды к косому водосливу производился также при

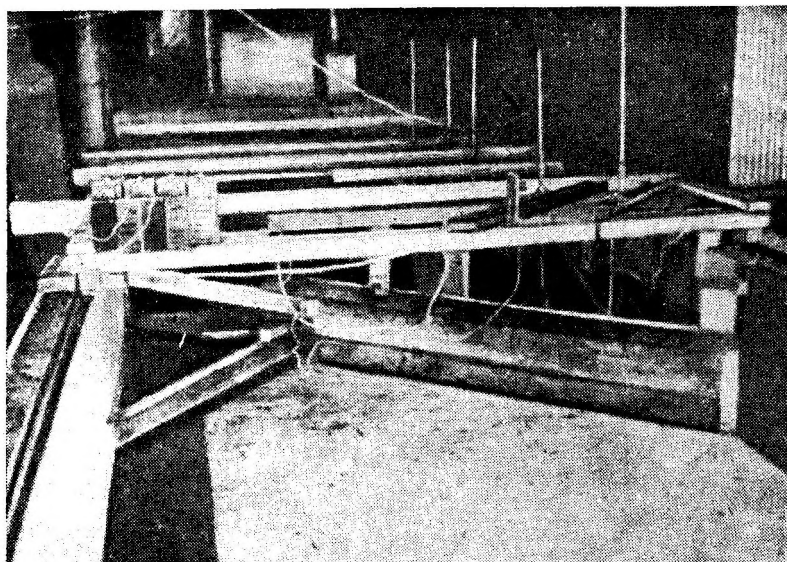


Рис. 39.

плавной вставке в остром углу водослива (рис. 38). Общий вид установки дан на рис. 39.

Описание явления.

При протекании воды через косой водослив с отводом воды при двух направляющих стенках в нижнем бьефе, так же как и при опытах с отводом воды со стеснением вертикальными стенками, наблюдался подпор в тупом углу водослива, правда, очень незначительный; при расходе $Q = 58,0$ л/сек глубина

в тупом углу $h_1 = 95,2$ мм, в остром $h_1' = 94,1$ мм; при расходе $Q = 28,8$ л/сек, $h_1 = 59,9$ мм, $h_1' = 59,2$ мм, а в остром углу образовывалась все же нерабочая часть гребня модели.

При удалении одной, а также и двух направляющих стенок в нижнем бьефе уничтожался лишь подпор в тупом углу водослива и происходило растекание струи.

В этих опытах все же оказывалась нерабочая часть гребня водослива, что конечно должно было сказаться и на коэффициенте расхода.

Для уничтожения нерабочей части гребня в остром углу был изменен подвод воды постановкой криволинейной вставки в остром углу верхнего бьефа. При этом оказалось, что протекание воды было улучшено и не образовывалось мертвого пространства в остром углу.

Коэффициент расхода.

Результаты опытов над нормальным водосливом $\alpha = 90^\circ$ разных шири: $b = 0,304$ м, $b = 0,598$ м, $b = 1,004$ м даны в табл. 5.

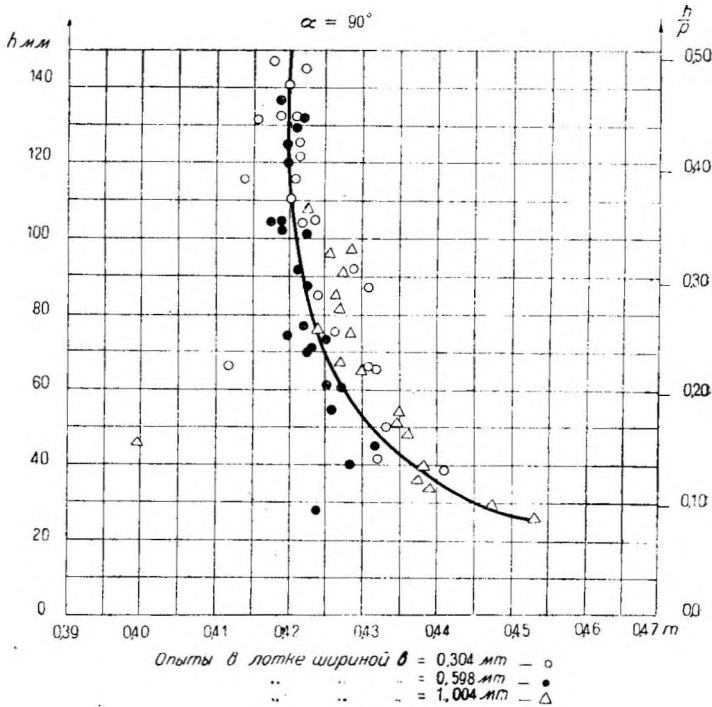


Рис. 40.

Вычисление коэффициента расхода произведено по формуле

$$m = \frac{Q}{b\sqrt{2gh_0^{3/2}}};$$

полученные значения нанесены на один график

для всех ширин (рис. 40), где по оси абсцисс отложены коэффициенты расхода m , по оси ординат слева напоры h , справа

отношения $\frac{h}{p}$.

Из рассмотрения графика видно, что влияния ширины водослива на коэффициенты расхода не обнаружено.

При сравнении результатов этих опытов с результатами опытов в стеклянном лотке лаборатории МИИТ оказывается,

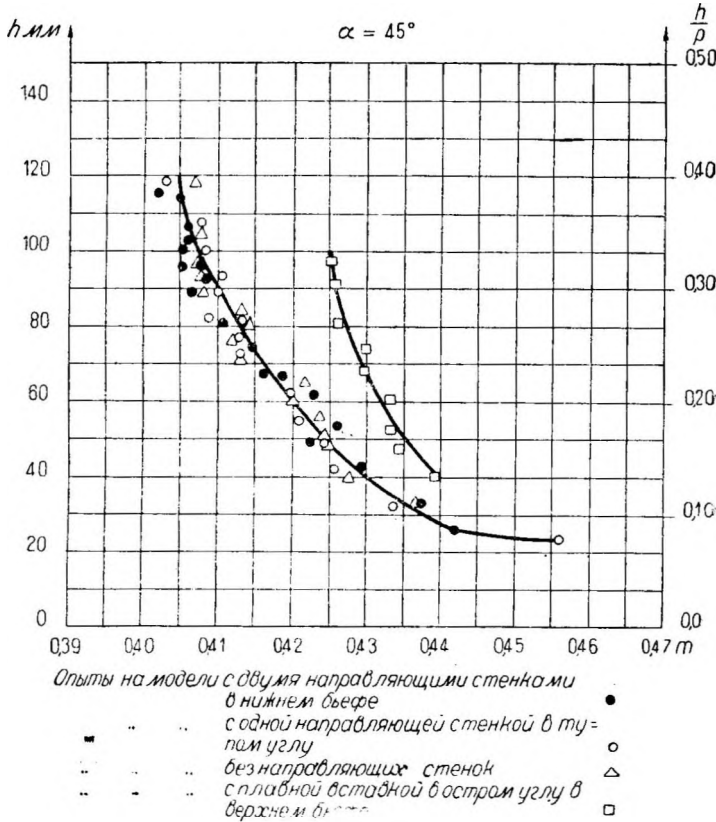


Рис. 41.

что коэффициенты расхода разнятся друг от друга. При отношении $\frac{h}{p} = 0,35$ в МИИТ получен $m = 0,4150$, в ВИСУ $m = 0,4210$. Такое несовпадение объясняется недостаточно точным измерением расхода (не весовым и объемным способами, а при помощи мерного водослива). О возможных ошибках при измерениях как расхода, так и коэффициента расхода см. ниже.

Коэффициенты расхода для косо водослива $\alpha = 45^\circ$ с различными условиями отвода и подвода воды приводятся в табл. 5.

Они также нанесены и на график $m = f(h)$ и $m = f\left(\frac{h}{p}\right)$ (рис. 41).

Оказывается, что наличие направляющих стенок, поставленных нормально к гребню в нижнем бьефе, и отсутствие как одной из них, так и обеих не влияет на коэффициент расхода, лишь бы они стояли таким образом, чтобы не создавали подпора вдоль гребня. Образование же растекания на краях водослива не оказывает никакого влияния на коэффициент расхода.

Здесь следует отметить противоречие сделанного выше вывода с указанием проф. Бахметева по отношению к нормальным водосливам⁹, согласно которому растекание струи при сходе с водослива должно влиять на коэффициент расхода. Полученная группа точек при разных условиях отвода воды с модели дает одну кривую (рис. 41).

Результаты опытов с измененным подводом воды к модели (у острого угла модели в верхнем бьефе поставлена плавная вставка) нанесены также на этот график (рис. 41).

Полученная таким образом кривая $m = f(h)$ показывает увеличение коэффициента расхода по сравнению с предыдущими опытами, чего и нужно было ожидать при наблюдаемом явлении.

Кривые зависимости для косо́го водослива $\alpha = 45^\circ$ при разных условиях отвода и подвода вода

$$m = f\left(\frac{h}{p}\right) \text{ и кривая}$$

$$m = f\left(\frac{h}{p}\right) \text{ для нормального водослива } \alpha = 90^\circ \text{ нанесены на один}$$

график, изображенный на рис. 42. Из него видно, что при одном и том же отношении $\frac{h}{p}$ коэффициенты расхода для косо́го водослива при обычном подводе воды меньше, чем для нормального; для косо́го же водослива с плавной вставкой в верхнем бьефе, которая уничтожает мертвое пространство острого угла, а также нерабочую часть гребня водослива, несколько больше, чем для нормального.

Для целей практики важен на столько коэффициент расхода, как наибольшая пропускная способность водослива. Подсчитаем например увеличение расхода для косо́го водослива с плавной вставкой в верхнем бьефе и без нее по сравнению с нормальным водосливом.

При одних и тех же напорах на водосливах процентное увеличение расхода $\Delta Q_{90^\circ-45^\circ} / Q_0 = \Delta m_{90^\circ-45^\circ} / m_0 \cdot \Delta b_{90^\circ-45^\circ} / b_0$, где $\Delta Q_{90^\circ-45^\circ} / Q_0$ — процентное увеличение или уменьшение коэффициента расхода для косо́х водосликов по сравнению с нормальным, а $\Delta b_{90^\circ-45^\circ} / b_0$ — процентное увеличение длины гребня косо́го водослива по сравнению с нормальным.

Сделаем подсчеты для $h = 30 \text{ мм}$ и $h = 90 \text{ мм}$, считая, что разница в высотах (график рис. 41) $P_{45^\circ} = 0,301 \text{ м}$ и $P_{90^\circ} = 0,295 \text{ м}$ невелика и на результаты оказать влияния не может. При $h = 30 \text{ мм}$ $m_{90^\circ} = 0,4450$ и $m_{45^\circ} = 0,4375 \text{ мм}$ без вставки отно-

⁹ Проф. Бахметев, Гидравлика, 1932 г., стр. 191.

сительное уменьшение коэффициента расхода в процентах

$$\Delta m_{90^\circ-45^\circ}^0 / 0 = 3,00\%$$

При $h = 90$ мм $m_{90^\circ} = 0,4225$; $m_{45^\circ} = 0,4100$; $\Delta m_{90^\circ-45^\circ}^0 / 0 = 3,00\%$;
 $b_{90^\circ} = 0,598$ м; $b_{45^\circ} = 0,866$ м (без вставки), процентное уве-
 личение длины $b_{90^\circ-45^\circ}^0 / 0 = 43,20\%$; следовательно увеличение рас-
 хода:

$$\Delta Q_{90^\circ-45^\circ}^0 / 0 = \frac{143,20}{103,00} - 100,00 = 39,00\% \text{ (без вставки).}$$

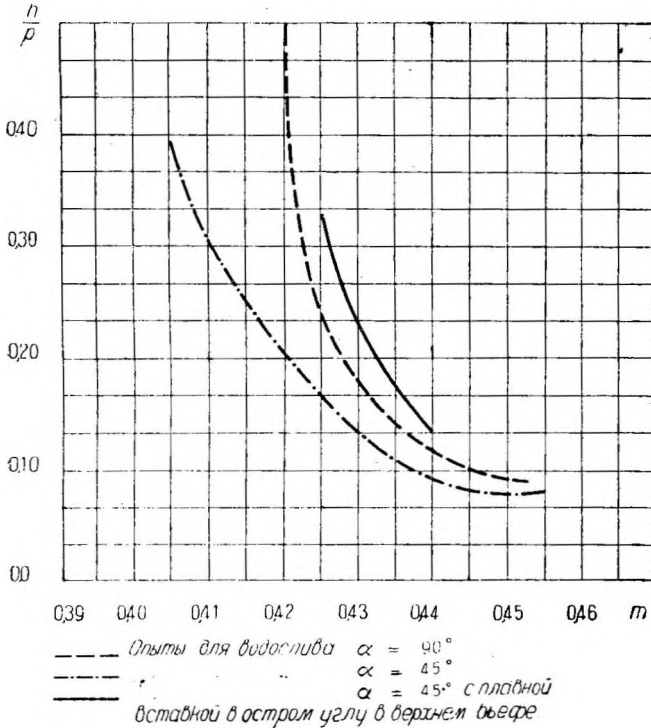


Рис. 42

Для косо́го водослива $\alpha = 45^\circ$ с плавной вставкой в остром углу верхнего бьефа при $h = 90$ мм; $m'_{45^\circ} = 0,4260$; $\Delta m'_{90^\circ-45^\circ} = 1,00\%$;
 $b'_{45^\circ} = 0,755$ м; $\Delta b'_{90^\circ-45^\circ} = 26,20\%$; увеличение расхода для косо́го водослива со вставкой:

$$\Delta Q'_{90^\circ-45^\circ} / 0 = 126,20 : 101,00 - 100,00 = 27,50\%$$

Увеличение пропускной способности косо́го водослива без вставки больше, чем для водослива со вставкой.

Отсюда ясно, что для большей эффективности косо́го водослива следует стремиться не только к плавному подводу воды

к водосливу для получения большего коэффициента расхода, но необходимо принять во внимание уменьшение длины гребня, что может повлечь за собой худшую работу водослива в смысле пропуска.

Б. ВОДОСЛИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ.

Описание установки.

Опыты над водосливами практического профиля (схему расположения см. на рис. 3) были поставлены в бетонном лотке гидротехнической лаборатории ВИСУ. Модели для опытов были взяты того же профиля и размеров, что и для опытов с водосливами практического профиля в стеклянном лотке (рис. 17). Углы поворота моделей в плане были те же $\alpha = 90, 75, 60, 45^\circ$. Установка их производилась аналогично тому, как были поставлены модели водосливов с тонкой стенкой в бетонном лотке при отделении части нужной ширины бетонного лотка стенкой.

Опыты производились при ширинах лотка $b_1 = 0,60$ м для сравнения результатов опытов с таковыми в стеклянном лотке и $b_2 = 1,00$ м для выяснения влияния ширины подводящего канала и длины гребня на коэффициент расхода косых водосливов.

Производство опытов.

Порядок производства опытов был тот же, что и в предыдущих опытах.

Напоры на моделях мерились тремя иглами, поставленными в лотке; глубина на гребне тремя-пятью иглами в зависимости от длины гребня модели.

Расходы определялись мерным водосливом, при больших расходах точность замера напора на мерном водосливе 0,8 мм. Высота и ширина моделей определялись так же, как и при опытах с водосливами практического профиля в стеклянном лотке. Точность измерения высоты модели 2 мм из-за неровностей дна лотка.

Описание явления.

При опытах над водосливами практического профиля с отводом воды, нормальным к гребню модели, не наблюдалось тех явлений, которые были характерны для опытов над водосливами со стесненным выходом воды с водослива. По длине гребня модели не было ни уклона воды от тупого угла водослива к острому, ни образования нерабочей части гребня в остром углу. Характер протекания отразился и на коэффициентах расхода, что видно из следующего раздела.

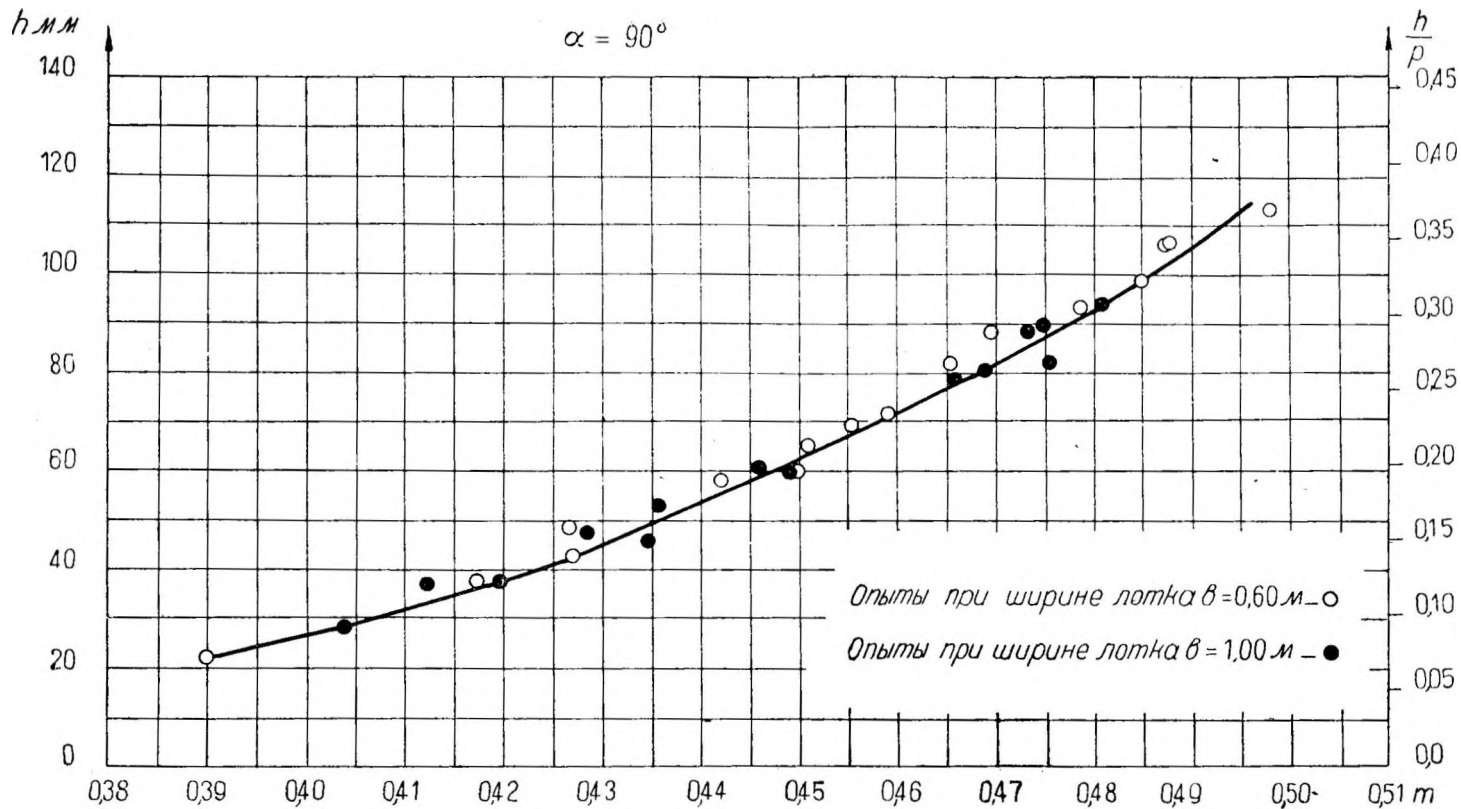


Рис. 43.

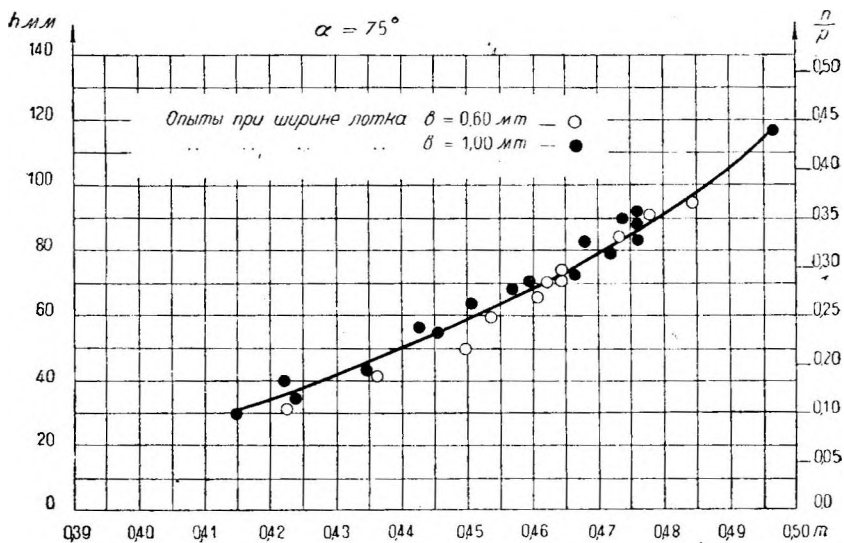


Рис. 44.

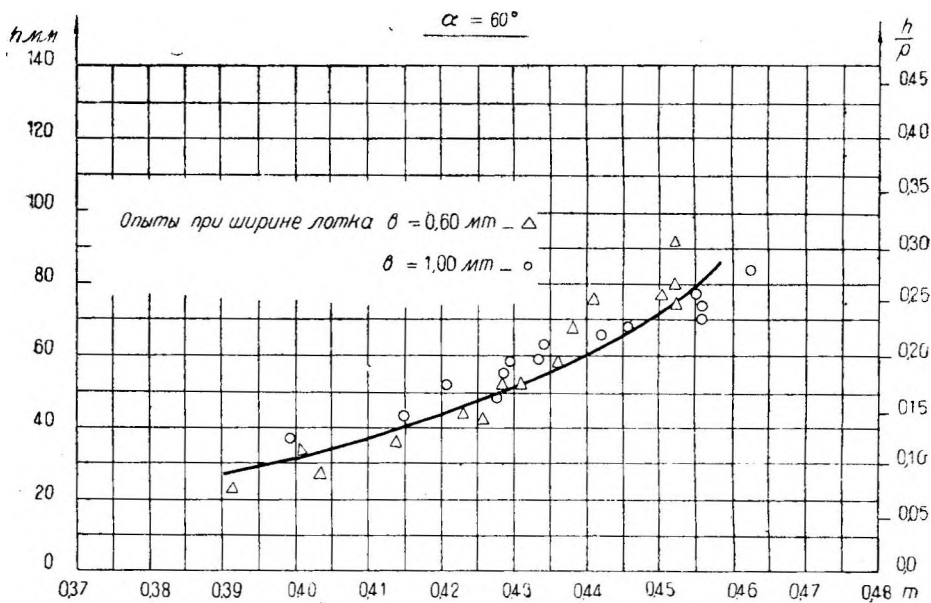


Рис. 45.

Коэффициенты расхода.

Коэффициенты расхода вычислялись, как и в предыдущем, по формуле $m = \frac{Q}{b\sqrt{2g}h_0^{3/2}}$. Численные значения, полученные из опытов, даны в табл. 6.

Коэффициенты расхода для водосливов с шириной лотка $b_1 = 0,60$ м и $b_2 = 1,00$ м при одних и тех же углах косины водосливов в плане нанесены на один и тот же график. Зависимость коэффициентов расхода от напора $m = f(h)$ для $\alpha = 90^\circ$ дана на рис. 43; для $\alpha = 75^\circ$ на рис. 44; для $\alpha = 60^\circ$ на рис. 45; для $\alpha = 45^\circ$ на рис. 46. Из этих графиков видно, что длина гребня косых водосливов для одного и того же угла с отводом

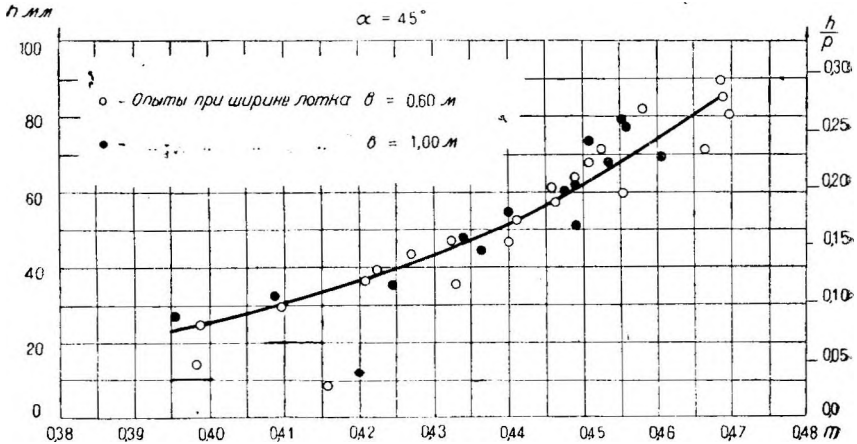


Рис. 46.

воды нормально к гребню модели, так же как и для водосливов нормальных, не оказывает влияния на коэффициенты расхода. Через точки, полученные при опытах с шириной лотка $b_1 = 0,60$ м и $b_2 = 1,00$ м, можно провести лишь одну кривую. Правда, при опытах в бетонном лотке мы получаем большую разбросанность точек по сравнению с опытами в стеклянном лотке, но это объясняется конструкцией всей установки: несимметричность входа, трудность в установке игл по сравнению со стеклянным лотком и более близкое расположение модели к голове лотка.

Для сравнения кривых коэффициентов расхода при разных углах косины все они наложены на один график (рис. 47). На этот же график нанесены и результаты опытов в стеклянном лотке для нормального водослива. Из него видно, что кривые разных углов почти совпадают, причем расхождение между ними не является закономерным, а именно: кривая для $\alpha = 75^\circ$ имеет наибольшие значения m при разных h ; кривая для $\alpha = 90^\circ$

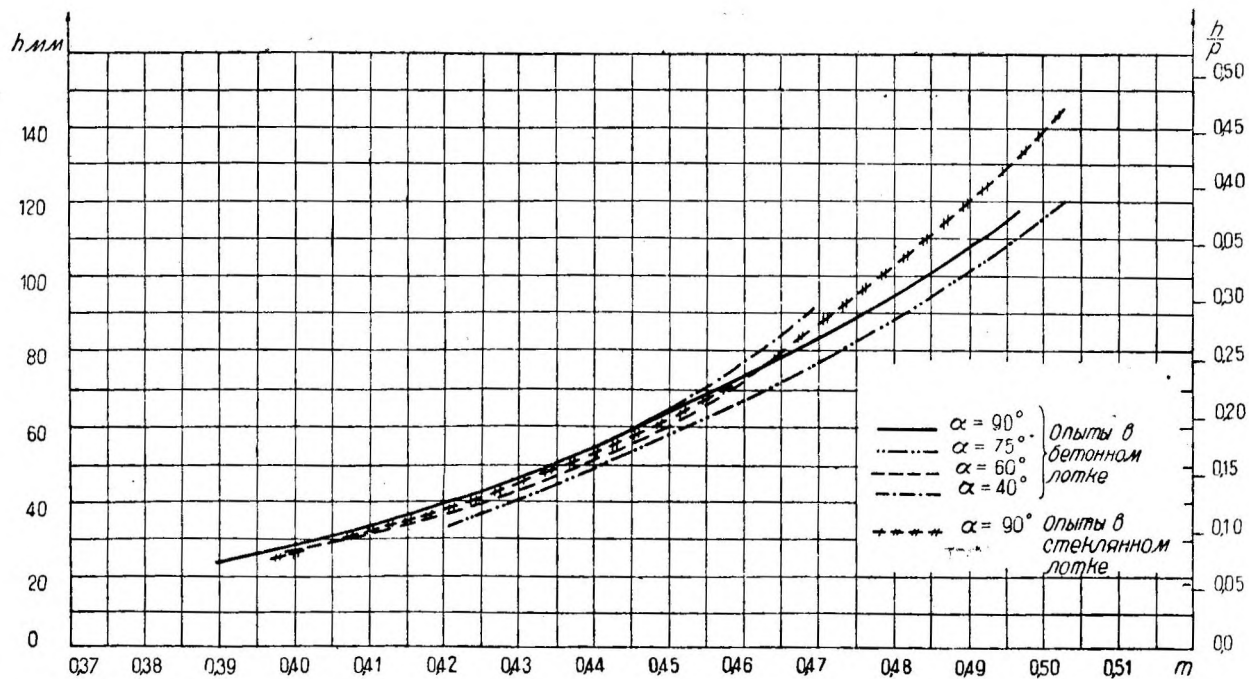


Рис. 47.

и для $\alpha = 45^\circ$ совпадает за исключением небольшого участка в верхней части ¹⁰.

Расхождение кривых в нижних частях не превышает 1% в значении коэффициентов расхода при одном и том же напоре, в верхних же частях расхождение между кривой с наименьшим коэффициентом расхода $m(h = 45^\circ)$ и наибольшим ($\alpha = 75^\circ$) = 2%,

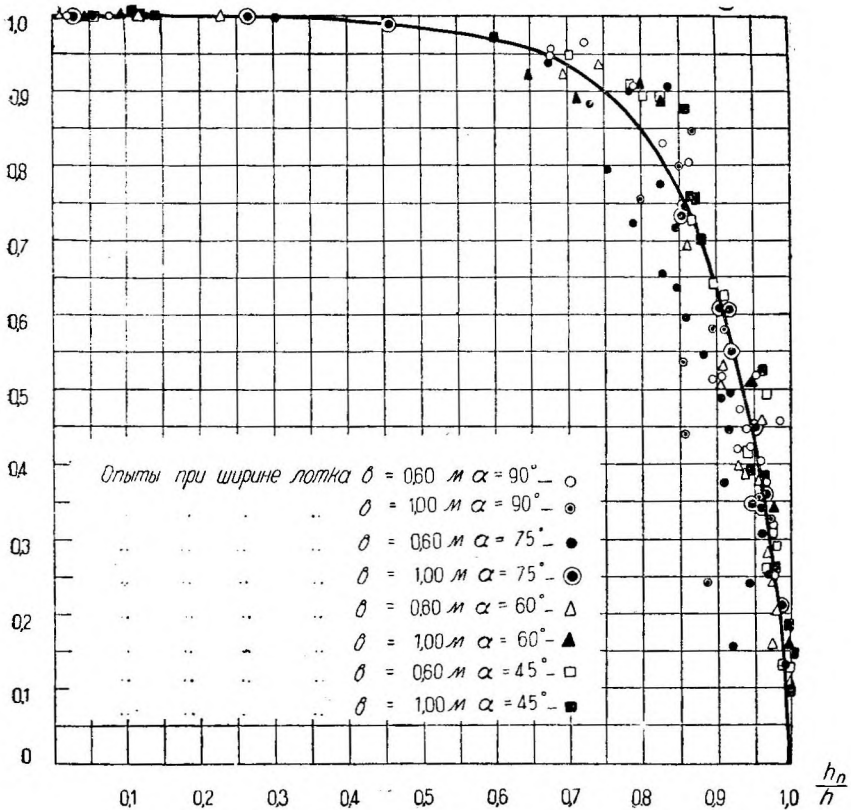


Рис. 48.

что при вышеуказанных условиях производства опытов является небольшим.

Расхождение между кривыми коэффициентов расхода для нормального водослива $\alpha = 90^\circ$ при опытах в бетонном и стеклянном лотках может быть объяснено не вполне точным совпадением профилей.

На основе рассмотрения рис. 47 можно сказать, что влияния косины угла на коэффициенты расхода обнаружено не было.

¹⁰ К сожалению из-за недостатка времени кривые отроились не по способу наименьших квадратов, а на-глаз, с тем расчетом, чтобы отклонения ее от точек в ту и другую стороны были бы равны.

При сравнении результатов всех опытов над косыми водосливами как в тонкой стенке с боковым сжатием и без бокового сжатия, так и практического профиля следует отметить, что коэффициенты расхода для косых водосливов при устранении образования подпора вдоль гребня и при создании плавного входа воды в плане со стороны верхнего бьефа равны коэффициентам расхода нормальных водосливов. Это обстоятельство имеет огромное значение для практики. При косорасположенных плотинах и косых входах в каналы в большинстве случаев имеем соблюдение условий, необходимых для равенства коэффициентов расхода косых и нормальных водосливов, плавные входы и отсутствие вертикальных стенок в тупом углу водослива, а следовательно и принимаемое при проектировке сооружений уменьшение коэффициента расхода по приводимой в начале работы таблице излишне, так как дает лишь ненужный запас и удорожает сооружение.

Влияние затопления на коэффициент расхода.

При опытах над косыми водосливами практического профиля при отводе воды нормально к гребню модели было произведено также изучение влияния затопления на коэффициенты расхода.

Опыты производились для всех углов $\alpha = 90, 75, 60$ и 45° и ширин подводящего канала $b_1 = 0,60$ м и $b_2 = 1,00$ м.

Результаты исследований сведены в табл. 7 и даны на рис. 48.

По оси абсцисс отложено относительное затопление но

оси ординат — коэффициенты затопления σ_3 .

Точки для всех углов и ширин образуют одну кривую, кото-

рая совершенно совпадает с аналогичной кривой

$$\sigma_3 = f\left(\frac{h_n}{h}\right)$$

для опытов в стеклянном лотке (рис. 26).

Из полученных графиков видно, что косина водослива как при отводе воды нормально к гребню, так и при стеснении выхода с гребня не влияет на коэффициенты затопления,

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ СТРУИ
И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ И ДАВЛЕНИЙ
В СЖАТОМ СЕЧЕНИИ.**

Исследование формы струи было произведено для нормального водослива при ширинах лотка $b_1 = 0,60$ м и $b_2 = 0,30$ м (опыты в бетонном лотке ВИСУ) и для косо́го водослива $\alpha = 45^\circ$ с выходом воды нормально к гребню.

Результаты исследования даны в табл. 8 для $\alpha = 90^\circ$ и в табл. 9 для $\alpha = 45^\circ$.

Съемка верхней поверхности струи была сделана обычной измерительной иглой, нижняя поверхность—иглой с электрическим контактом (рис. 49).

Опыты показали, что для нормального водослива отноше-

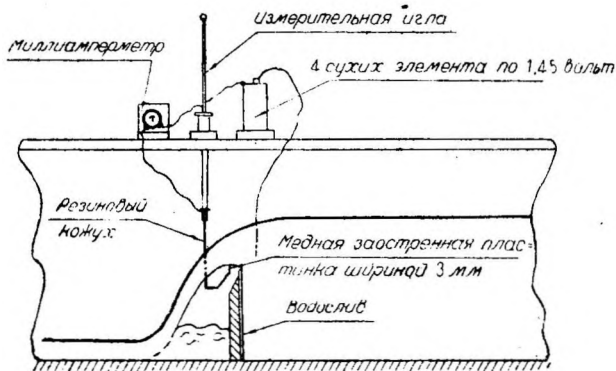


Рис. 40.

ние поднятия струи к напору $\frac{y_e}{h}$ в среднем такое же, какое получилось в опытах Базена И более поздних опытах ¹¹, а именно

$$\frac{y_e}{h} = 0,100 — 0,112.$$

Значения отношений $\frac{y_e}{h}$, полученные при наших опытах, даны в таблицах поверхностей струй (табл. 8). Для косо́го водослива

$\alpha = 45^\circ$ отношение $\frac{y_e}{h}$ имеет меньшее численное значение, что и вполне понятно, так как скорости подхода при косо́х

¹¹ S c i m e m i, „Sulle forma delle vene fracimanti" L'Energia Ellettrica. Aprile, 1930.

водосливах больше, чем у нормальных водосливов, при одном и том же напоре. Опыты Чимеми с нормальными водосливами

также показывают снижение $\frac{y_e}{h}$ при увеличении скоростей подхода.

Распределение скоростей в сжатом сечении нормального и косо-го водослива $\alpha = 45^\circ$ было измерено при помощи трубки Пито.

Распределение давлений производилось прибором, изготовленным для этой цели. Прибор для измерения давления состоял из стеклянной трубочки с загнутым концом, который ставился в нужную точку струи и стакана, в котором мерились горизонты воды, определяющие давление в данной точке. Схему прибора см. на рис. 50.

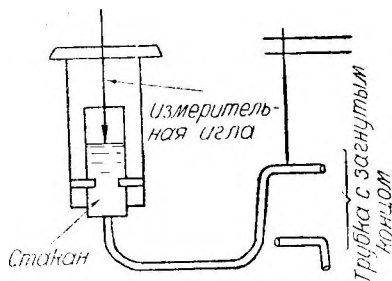


Рис. 50.

Прибор был предварительно протарирован.

Распределение давления в струе для нормального водослива кроме того было определено при помощи пьезометров, установленных в боковой стенке водослива.

Результаты опытов по распределению скоростей и давлений в сжатом сечении струи для нормального и косо-го водосливов даны в табл. 10 и на рис. 51 и 52.

На чертежах пунктирными линиями дано теоретическое распределение скоростей $V = \sqrt{2gh_0}$, сплошными — полученное путем замеров.

К сожалению скорости, лежащие вблизи поверхностей (верхней и нижней) струи, не могли быть замерены из-за размеров трубки Пито, которую мы имели при опытах. Верхние и нижние скорости получены экстраполяцией, они лежат на теоретическом распределении скоростей, что согласуется с характером явления.

Этора распределения скоростей для косо-го водослива более вытянута книзу по сравнению с нормальным водосливом, что можно объяснить большими скоростями подхода.

Распределения давлений в струе нанесены на те же рис. 51 и 52, где дается распределение скоростей.

Распределение давления в сжатом сечении струи косо-го водослива имеет ту же форму, что и для нормального водослива.

Кроме опытного определения давления проведены вычисления

их по формуле $\frac{p}{\gamma} = y - \int_1^2 \frac{v^2 dy^2}{gR}$, где $\frac{p}{\gamma}$ — давление в любой точке;

y — глубина положения этой точки от поверхности струи; v —

¹² Ко с h-Car s t a n j e n, Von der Bewegung des Wasser und den dabei auftretenden, Kräften 1926 г.

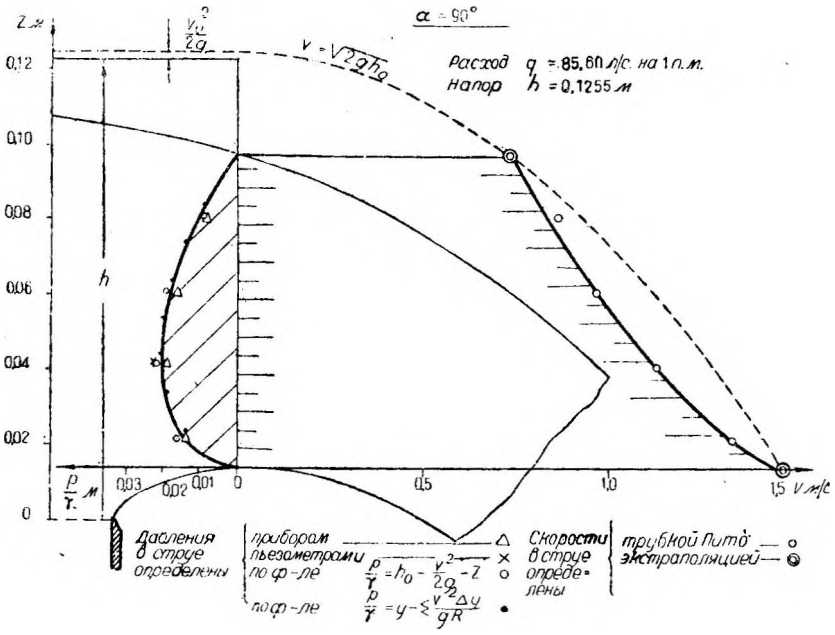


Рис. 51.

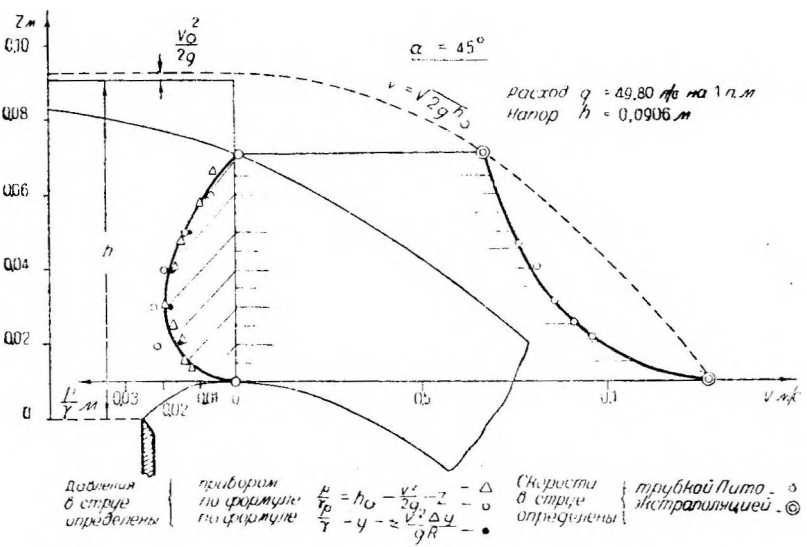


Рис. 52.

скорость в этой же точке; R — радиус ее кривизны; ϕ — элемент длины, нормальный к направлению струйки, $g = 9,81$.

Для определения давления по этой формуле величину u величины скоростей v берем по полученным эпюрам распределения скоростей; радиусы кривизны R определяем графически, вычертив струю и сетку, как рекомендует делать проф. Сабанеев¹³. Интеграл, определяющий поправку в давлении на кривизну струй от центробежной силы, заменяем суммой

для удобства производства вычисления
$$\frac{p}{\gamma} = y - \sum \frac{v^2 \Delta y}{Rg}.$$

Вычисления давлений в струе сведены в табл. 11, где даны давления для струи нормального и косоого водосливов.

Полученные таким путем значения $\frac{p}{\gamma}$ нанесены на те же рис. 51 и 52, откуда видим, что результаты хорошо согласуются с произведенными замерами.

Для проверки существования закона Бернулли в сжатом сечении косоого водослива определяем давления в струе по

формуле
$$h_0 = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}.$$
 Зная h_0 и r из опыта, а также поло-

жения точек z , находим
$$\frac{p}{\gamma} = h_0 - \frac{v^2}{2g} - z.$$

Вычисления даем в табл. 12 для нормального и косоого водосливов, а также значения $\frac{p}{\gamma}$ наносим на рис. 51 и 52. Результаты

вычислений также хорошо согласуются с предыдущими вычислениями и опытами за исключением двух точек, которые дают несколько преувеличенные значения.

На основе этих исследований можно сказать, как говорит Чимеми¹⁴, о струе нормального водослива и по отношению к струе косоого водослива в тонкой стенке: „Принцип Бернулли всегда оказывается правильным. Величины давления и скоростей в каждой из точек сжатого сечения оправдываются при вычислении взаимодействия между действующим в этой точке теоретическим напором и центробежной силой струй, находящейся над этой точкой“.

¹³ Проф. Сабанеев, О распределении давления в установившемся потоке жидкостей, изд. Научно-исследовательского института гидротехники, № 1, 1931 г.

¹⁴ Sci me mi, Fulle forma delle vene fraeimanti.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ КРИВЫХ КОЭФИЦИЕНТОВ РАСХОДА.¹⁵

Переходя к вопросу об определении точности кривых коэффициентов расхода наших опытов $m = t(h)$, первым делом отметим, что в литературе почти совершенно отсутствуют работы, затрагивающие вопрос о методологии подсчета возможных ошибок при лабораторном определении коэффициентов расхода.

В лучшем случае^o указывается только окончательная цифра средней возможной ошибки в коэффициентах расхода без указания того, каким образом эта цифра получена. Исключением является только работа Кричмера „*Untersuchung der Überfallkoeffizient für einige Wehre mit gerundete Krone*“, в которой он приводит метод, при помощи которого им была определена точность его лабораторных опытов по определению коэффициентов расхода водосливов практических профилей.

Мы полагаем, что вопрос о подсчете точности лабораторных опытов является вопросом чрезвычайно большой важности, так как: 1) рекомендуя проектировщикам пользоваться теми или иными результатами лабораторных исследований, необходимо, чтобы они отдавали себе полный отчет в том, насколько точны те данные, которые им предложены; 2) зная величину возможной ошибки в каждой отдельной операции, применяемой при лабораторных опытах, можно будет сразу видеть, какие из этих операций следует производить особенно тщательно и какие изменения следует внести в лабораторное оборудование и в какое именно оборудование для того, чтобы повысить точность опытов.

Наконец это дает возможность выяснить, пригодно ли вообще оборудование какой-нибудь данной лаборатории для точного проведения тех или иных опытов.

Возможные ошибки наших опытов мы подсчитаем, пользуясь в основном тем же методом их подсчета, каким пользовался и Кричмер, несколько его дополнив и внося кое-какие изменения сообразно специфическим условиям наших опытов.

¹⁵ Глава IV разработана Н. П. Розановым.

Сущность этого метода такова.

Всякий коэффициент расхода в лабораторных опытах, как известно, определяется из зависимости:

$$m = \frac{Q}{b \left(h + \frac{Q^2}{2g \omega^2} \right)^{3/2} \sqrt{2g}}$$

которая для случая прямоугольного подводящего лотка и водослива без бокового сжатия принимает вид:

$$m = \frac{Q}{b \left(h + \frac{Q^2}{2gb^2(h+p)^2} \right)^{3/2} \sqrt{2g}} \quad (1)$$

Как видно, в эту формулу входят: расход, напор, длина водослива по гребню и высота водослива. Все эти величины

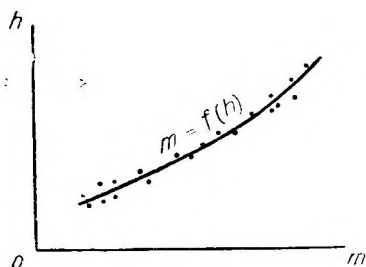


Рис. 53.

измеряются в лаборатории при помощи тех или иных приборов, причем при измерении каждой из этих величин будет обязательно некоторая ошибка, зависящая от точности применяемых приборов и условий производства опытов.

Следовательно точность коэффициентов расхода будет зависеть от точности измерения величин, входящих в правую часть формулы (1), и, найдя возможные ошибки в измерении этих величин, мы сможем

проследить, как влияет каждая из ошибок измерения на величину коэффициента расхода и какова может быть ошибка в коэффициенте расхода при самом неблагоприятном сочетании отдельных возможных ошибок величин, входящих в правую часть формулы (1).

Подсчитать же просто среднюю квадратическую ошибку кривой $m = f(h)$ (рис. 53) было бы совершенно неправильно, так как в этом случае мы нашли бы только ошибку, включающую в себя ошибку в проведении этой кривой по точкам, и ошибку, зависящую от разбросанности этих точек.

А разбросанность точек кривой $m = f(h)$ обуславливается не всеми возможными ошибками в измерениях.

Действительно, если у нас, скажем, длина водослива по гребню измерена неверно, то разбросанность точек от этого несколько не изменится, так как измеренная длина водослива по гребню входит в вычисление всех точек кривой $m = f(h)$, а следовательно эта кривая может от ошибки в измерении длины гребня водослива только вся переместиться в ту или другую сторону.

Также разбросанность точек кривой $m = f(h)$ существенна не изменится, если мы при вычислении коэффициентов расхода m стали бы пользоваться не найденной тарифовочной кривой мерного водослива $Q = \varphi(H)$ (кривая I рис. 54), а какой-либо другой, идентичной ей кривой, проведенной на некотором расстоянии от нее (кривая II).

Следовательно разбросанность точек кривой $Q = \varphi(H)$ не включает в себя полностью и возможную ошибку в измерении расхода.

Поэтому средняя квадратическая ошибка кривой $Q = \varphi(H)$ не является в данном случае величиной, характеризующей точность опытов, и следовательно для получения представления об этой точности необходимо проследить, как это было сказано выше, влияние на коэффициент расхода возможных ошибок измерения величин, входящих в формулу (1).

Подсчитаем эти ошибки для опытов с водосливом практического профиля, проведенных в бетонном лотке гидролаборатории ВИСУ при $\alpha = 90^\circ$ и $b = 0,604$ м.

Рассмотрим такие ошибки:

- а) Ошибка при измерении напора h ,
- б) „ „ „ длины водослива по гребню b ,
- в) „ В „ расхода Q ,
- г) „ „ „ высоты водослива p .

Найдя эти отдельные ошибки, проследим их влияние на величину коэффициентов расхода m .

А. ОШИБКА К ИЗМЕРЕНИИ НАПОРА h .

В этих опытах отметки горизонта воды в лотке измерялись по трем иглам при однократном отсчете по каждой игле.

Из вычисленных затем напоров брался средний, вследствие чего мы можем в данном случае принять за вероятную ошибку в измерении напора ошибку арифметической середины.

Подсчитаем ошибку при измерении напоров для малых средних и больших напоров, считая малыми напоры $h < 50$ мм средними — 50 мм $< h < 80$ мм и большими — $h > 80$ мм.

При этом будем пользоваться формулами:

$$\xi = \pm \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n - (\lambda + 1)}}, \quad (2)$$

где ξ — средняя квадратическая ошибка,

δ — разность между принятым значением рассматриваемой величины (например напора) и наблюдаемым значением ее,

$[\delta^2]$ — сумма δ^2 ¹⁶,

n — число наблюдаемых точек,

¹⁶ Обозначение, введенное Гауссом.

№	h мм	δ мм	δ² 10⁶	№	h мм	δ мм	δ² 10⁶	№	h мм	δ мм	δ² 10⁶
Малые напоры				Средние напоры				Большие напоры			
I				I				I			
1	23,3	+0,20	40 000	1	58,7	+0,267	71 289	1	104,8	+0,500	250 000
2	23,7	-0,20	40 000	2	59,0	-0,033	1 089	2	105,7	-0,400	160 000
3	23,5	0,00	40 000	3	59,2	-0,234	54 756	3	105,4	-0,100	10 000
h_{cp}	23,5	0,00	80 000	h_{cp}	58,96	70,000	127,134	h_{cp}	105,3	0,000	420 000
	$\xi'_1 = \pm \frac{1}{10^3} \sqrt{\frac{80\,000}{2}} = \pm 0,200 \text{ мм}$				$\xi'_1 = \pm \frac{1}{10^3} \sqrt{\frac{127\,134}{2}} = \pm 0,252 \text{ мм}$				$\xi'_1 = \pm \frac{1}{10^3} \sqrt{\frac{420\,000}{2}} = \pm 0,458 \text{ мм}$		
	$M'_1 = \frac{\xi'_1}{\sqrt{n}} = \pm \frac{0,200}{\sqrt{3}} = \pm 0,115 \text{ мм}$				$M'_1 = \frac{\xi'_1}{\sqrt{n}} = \pm \frac{0,252}{\sqrt{3}} = \pm 0,145 \text{ мм}$				$M'_1 = \frac{\xi'_1}{\sqrt{n}} = \pm \frac{0,458}{\sqrt{3}} = \pm 0,264 \text{ мм}$		
II				II				II			
1	42,1	+0,067	4 489	1	64,2	+0,067	4 489	1	111,3	+0,200	40 000
2	42,2	-0,033	1 089	2	64,3	0,033	1 089	2	111,7	-0,200	40 000
3	42,2	-0,034	1 156	3	64,3	0,034	1 156	3	111,5	0,000	0 000
h_{cp}	42,167	0,000	6 734	h_{cp}	64,267	0,000	6 734	h_{cp}	111,5	0,000	80 000
	$\xi'_1 = \pm \frac{1}{10^3} \sqrt{\frac{6\,734}{2}} = \pm 0,058 \text{ мм}$				$\xi'_1 = \pm \frac{1}{10^3} \sqrt{\frac{6\,734}{2}} = \pm 0,058 \text{ мм}$				$\xi'_1 = \pm \frac{1}{10^3} \sqrt{\frac{80\,000}{2}} = \pm 0,200 \text{ мм}$		
	$M'_1 = \frac{\xi'_1}{\sqrt{n}} = \pm \frac{0,058}{\sqrt{3}} = \pm 0,033 \text{ мм}$				$M'_1 = \frac{\xi'_1}{\sqrt{n}} = \pm \frac{0,058}{\sqrt{3}} = \pm 0,033 \text{ мм}$				$M'_1 = \frac{\xi'_1}{\sqrt{n}} = \pm \frac{0,200}{\sqrt{3}} = \pm 0,115 \text{ мм}$		
III				III				III			
1	36,7	+0,133	17 689	1	70,6	+0,100	10 000	1	97,4	-0,267	71 289
2	36,9	-0,067	4 489	2	70,8	-0,100	10 000	2	97,1	+0,033	1 089
3	36,9	-0,066	4 356	3	70,7	0,000	10 000	3	96,9	-0,234	54 756
h_{cp}	36,833	0,000	26 534	h_{cp}	70,7	0,000	20 000	h_{cp}	97,133	0,000	127 134
	$\xi'_1 = \pm \frac{1}{10^3} \sqrt{\frac{26\,534}{2}} = \pm 0,115 \text{ мм}$				$\xi'_1 = \pm \frac{1}{10^3} \sqrt{\frac{20\,000}{2}} = \pm 0,100 \text{ мм}$				$\xi'_1 = \pm \frac{1}{10^3} \sqrt{\frac{127\,134}{2}} = \pm 0,252 \text{ мм}$		
	$M'_1 = \frac{\xi'_1}{\sqrt{n}} = \pm \frac{0,115}{\sqrt{3}} = \pm 0,066 \text{ мм}$				$M'_1 = \frac{\xi'_1}{\sqrt{n}} = \pm \frac{0,100}{\sqrt{3}} = \pm 0,058 \text{ мм}$				$M'_1 = \frac{\xi'_1}{\sqrt{n}} = \pm \frac{0,252}{\sqrt{3}} = \pm 0,145 \text{ мм}$		

λ — порядок параболы, проводимой по этим точкам:

$$M = \pm \frac{\xi}{\sqrt{n}}, \quad (3)$$

где M — ошибка арифметической середины.

Этими формулами мы будем пользоваться и при дальнейшем подсчете ошибок.

Вычисление этой ошибки сосредоточено в табл. III.

Принимаем:

для малых напоров $M'_1 = 0,12$ мм,
 „ средних „ $M'_1 = 0,15$ мм,
 „ больших „ $M'_1 = 0,26$ мм, где M'_1 — средняя квадратичная

ошибка арифметической середины при измерении напоров.

Подсчитаем теперь ошибку в измерении величины мениска

M''_1 . Вычисление ошибки M''_1 сосредоточено в табл. IV.

Таблица IV

№	Величина мениска Δ мм	δ мм	$\delta^2 \cdot 10^4$	№	Величина мениска Δ мм	δ мм	$\delta^2 \cdot 10^4$
1	2,30	+ 0,54	2 916	28	3,10	- 0,26	676
2	2,30	+ 0,54	2 916	29	3,50	- 0,66	4 356
3	3,10	- 0,26	676	30	3,00	- 0,16	256
4	3,40	- 0,56	3 136	31	2,30	+ 0,54	2 916
5	3,00	- 0,16	256	32	2,50	+ 0,34	1 156
6	2,30	+ 0,54	2 916	33	3,20	- 0,36	1 296
7	2,30	+ 0,54	2 916	34	3,60	- 0,76	5 776
8	3,10	- 0,26	676	35	3,10	- 0,26	676
9	3,40	- 0,56	3 136	36	2,10	+ 0,74	5 476
10	3,00	- 0,16	256	37	2,30	+ 0,54	2 916
11	2,30	+ 0,54	2 916	38	3,00	- 0,16	256
12	2,30	+ 0,54	2 916	39	3,40	- 0,56	3 136
13	3,10	- 0,26	676	40	2,90	- 0,06	36
14	3,40	- 0,56	3 136	41	2,30	+ 0,54	2 916
15	3,00	- 0,16	256	42	2,50	+ 0,34	1 156
16	2,30	+ 0,54	2 916	43	3,20	- 0,36	1 296
17	2,40	+ 0,44	1 936	44	3,60	- 0,76	5 776
18	3,10	- 0,26	676	45	3,10	- 0,26	676
19	3,50	- 0,66	4 356				
20	3,00	- 0,16	256				
21	2,20	+ 0,64	4 096	$\Delta_{ср} =$	2,84	0,00	95 880
22	2,30	+ 0,54	2 916				
23	3,00	- 0,16	256	$\xi''_1 = \pm \frac{1}{103} \sqrt{\frac{95 880}{44}} = \pm 0,467$ мм			
24	3,40	- 0,56	3 136	$M''_1 = \frac{\xi''_1}{\sqrt{n}} = \pm \frac{0,467}{\sqrt{45}} = \pm 0,070$ мм			
25	2,90	- 0,06	36				
26	2,30	+ 0,54	2 916				
27	2,40	+ 0,44	1 936				

Ко второй группе отнесем ошибки:

$$\xi_3, \xi_4, \xi_5.$$

Заметим, что ошибки ξ_3 и ξ_4 как раз и обуславливают разбросанность точек кривой $Q = \varphi(H)$, вследствие чего ошибки второй группы легче всего определить не по отдельности каждую, а сразу все вместе, для чего надо только подсчитать точность кривой $Q = \varphi(H)$.

При этом мы учтем сразу и ошибку от недостаточной тщательности проведения кривой $Q = \varphi(H)$, т. е. ξ_5 .

Для определения суммарной ошибки второй группы ошибок ξ_{II} составляем таблицу величин отклонений (δ) л/сек измеренных точек от проведенной по этим точкам кривой $Q = \varphi(H)$ и по этим отклонениям подсчитаем среднюю квадратическую ошибку, предполагая, что наша кривая $Q = \varphi(H)$ является параболой третьей степени (рис. 55).

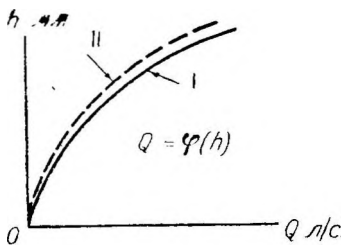


Рис. 54.

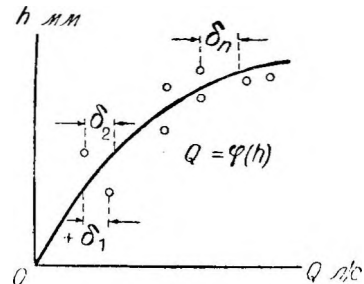


Рис. 55.

При этом кривую $Q = \varphi(H)$ мы разбиваем на три участка: участок малых расходов $Q < 15$ л/сек, участок средних расходов 15 л/сек $< Q < 30$ л/сек и участок больших расходов $Q > 30$ л/сек.

Разбивка кривой $Q = \varphi(H)$ на участки обусловлена тем, что в разных частях этой кривой наблюдается различная разбросанность точек.

Для каждого из этих участков мы и подсчитаем среднюю квадратическую ошибку.

Все вычисления ошибки ξ_{II} для этих участков сосредоточены в табл. V.

Таким образом:

для $Q < 15$ л/сек	$\xi_{II} = \pm 0,13$ л/сек
„ 15 л/сек $< Q < 30$ л/сек	$\xi_{II} = \pm 0,24$ „
„ $Q > 30$ л/сек	$\xi_{II} = \pm 0,21$ „

Чтобы найти общую ошибку в расходе — ξ_Q , следует только сложить ошибки $\xi_1, \xi_2, \xi_4, \xi_{II}$, выраженные в процентах.

№	δ л/сек	δ^2	№	δ л/сек	δ^2	№	δ л/сек	δ^2
Малые расходы $Q < 15$ л/сек			Средние расходы 15 л/сек $< Q < 30$ л/сек			Большие расходы $Q > 30$ л/сек		
1	0,00	0,0000	1	0,00	0,0000	1	+ 0,20	0,0400
2	0,00	0,0000	2	— 0,15	0,0225	2	+ 0,10	0,0100
3	— 0,15	0,0225	3	— 0,10	0,0100	3	— 0,20	0,0400
4	+ 0,05	0,0025	4	— 0,10	0,0100	4	+ 0,20	0,0400
5	— 0,05	0,0025	5	— 0,20	0,0400	5	— 0,15	0,0225
6	— 0,20	0,0400	6	+ 0,20	0,0400	6	— 0,05	0,0025
7	— 0,05	0,0025	7	— 0,35	0,1225	7	0,00	0,0000
8	— 0,05	0,0025	8	+ 0,25	0,0625	8	0,00	0,0000
9	— 0,20	0,0400	9	— 0,10	0,0100	9	— 0,30	0,0900
10	0,00	0,0000	10	+ 0,30	0,0900	10	+ 0,15	0,0225
11	0,00	0,0000	11	— 0,10	0,0100			
		0,1125			0,4175	0,2675		

Например нам надо подсчитать возможную ошибку в измерении расхода $Q = 51,0$ л/сек, тогда:

$$\begin{aligned}
 \xi_{II} &= \pm \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-4}} = & \xi_{II} &= \pm \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-4}} = & \xi_{II} &= \pm \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-4}} = \\
 &= \pm \sqrt{\frac{0,1125}{7}} = & &= \pm \sqrt{\frac{0,4175}{7}} = & &= \pm \sqrt{\frac{0,2675}{6}} = \\
 &= \pm 0,13 \text{ л/сек} & &= \pm 0,24 \text{ л/сек} & &= \pm 0,21 \text{ л/сек}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \pm \xi_Q &= \pm \left(\xi_1 + \frac{\xi_2}{b} 100 + \frac{\xi_{II}}{Q} 100 \right) = \\
 &= \pm \left(0,11 + \frac{0,001}{0,604} 100 + \frac{0,21}{510} 100 \right) = \pm 0,69\%.
 \end{aligned}$$

Г. ОШИБКА В ИЗМЕРЕНИИ ВЫСОТЫ ВОДОСЛИВА P .

Возможную ошибку в измерении высоты водослива P принимаем:

$$\xi_p = \pm 2,0 \text{ мм.}$$

Подсчитав в пунктах А, В, С и D возможные ошибки в измерениях напора h , длины водослива по гребню b , расхода через водослив Q и высоты модели P , определим теперь, какова может быть ошибка в коэффициентах расхода при различных напорах.

Для этого возьмем несколько коэффициентов расхода, подсчитанных при различных напорах, и для каждого из них подсчитаем возможную наибольшую ошибку, предполагая, что сделаны ошибки во всех измерениях, причем Q и P взяты большими, а h

и b меньшими, т. е. имеется самое наименее выгодное сочетание ошибок (можно было конечно, наоборот, взять h и b большими, а Q и P меньшими).

Чтобы проследить влияние ошибки в каждом отдельном измерении на ошибку в коэффициенте расхода, при подсчетах будем последовательно давать соответствующую ошибку тому или другому фактору, влияющему на величину коэффициента расхода (h , Q , b и P), и находить при этом ошибку в коэффициенте расхода.

Складывая полученные таким образом ошибки, мы получим суммарную ошибку, возможную при самом неблагоприятном сочетании отдельных ошибок.

Результаты вычисления всех этих ошибок в коэффициентах расхода как суммарных, так и зависящих от ошибок в какой-

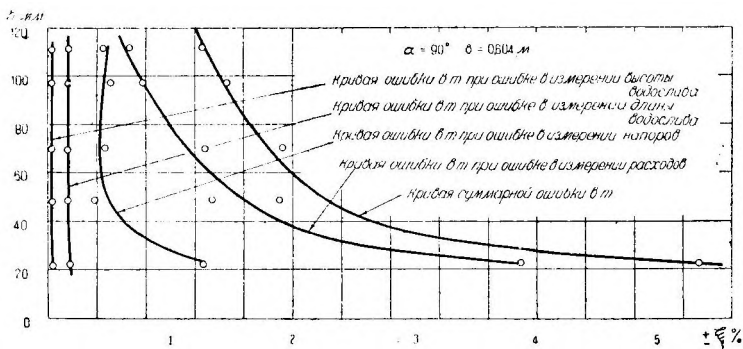


Рис. 56.

либо одной величине, входящей в формулу (1), сосредоточены в табл. VI.

По данным табл. VI построены графики на рис. 56 и 57.

Рассмотрим рис. 56.

На этом графике нанесены кривые влияния возможных ошибок в измерениях расходов, напоров длины водослива по гребню и высоты водослива на коэффициент расхода m .

Этот график показывает:

1. Что наибольшая возможная ошибка в коэффициентах расхода довольно значительна при малых напорах и расходах, например для напоров около 20 мм она больше 5%.
2. По мере увеличения напоров и расходов наибольшая возможная ошибка чрезвычайно быстро уменьшается, составляя при $h = 120$ мм уже только 1,2%.
3. Наибольшее влияние на ошибку в коэффициентах расхода в рассматриваемых опытах оказывает вероятная ошибка в измерении расхода, которая особенно велика при малых расходах (до 4%).
4. Ошибка в измерении напоров h менее существенно влияет на величину ошибки в коэффициентах расхода, изменяясь примерно от 1 до 0,5%.

С уменьшением напоров эта ошибка возрастает.

5. Ошибка в измерении длины гребня водослива b довольно слабо влияет на возможную ошибку в коэффициентах расхода (0,16%) и остается при всех напорах и расходах почти постоянной величиной.

$q, \text{ м}^3/\text{с}$

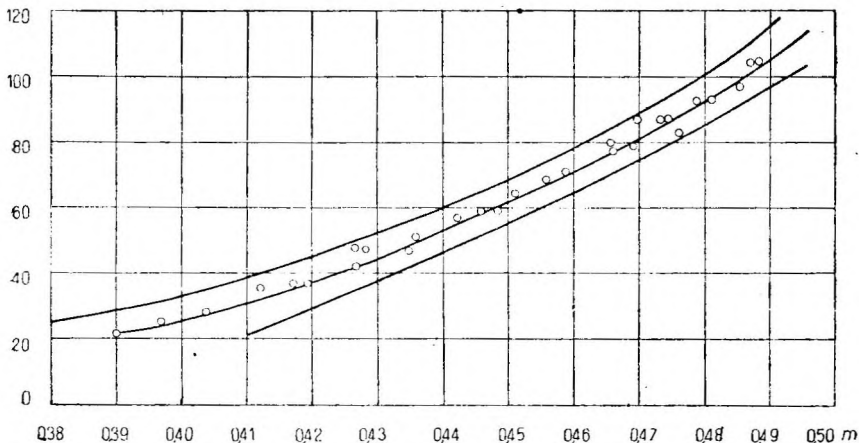


Рис. 57.

6. Ошибка в измерении высоты водослива P практически почти совершенно не влияет на точность вычисленных коэффи-

$h, \text{ м}$

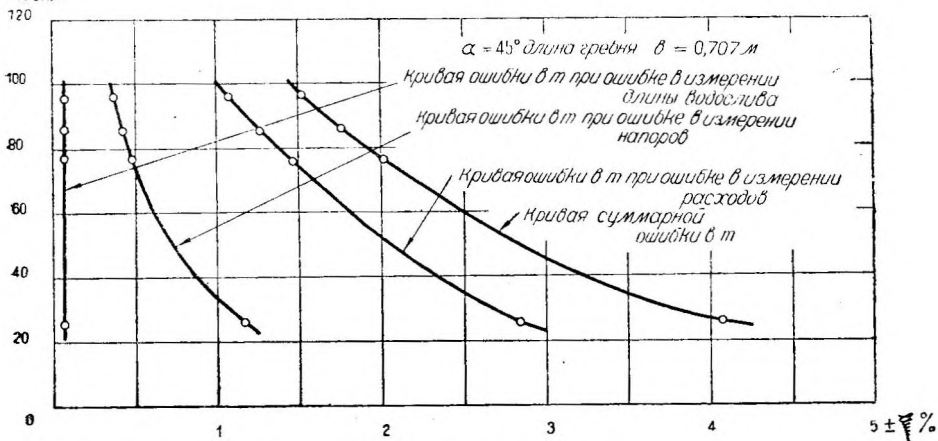


Рис. 58.

циентов расхода, так как она в данном случае не превышает 0,02%.

На рис. 57 нанесены огибающие кривые наибольших возможных ошибок, которые показывают, в каких пределах могут колебаться коэффициенты расхода при различных напорах.

Вычисление возможных ошибок в коэффициентах расхода. Незатопленный водослив практического профиля $\alpha = 90^\circ$, $b = 0,604$ м

№	ξ_Q %	ξ_h м	ξ_b м	ξ_p м	Q л/сек	h м	b м	p м	m	Ошибки $\pm \xi\%$
1	0	0	0	0	3,60	0,0228	0,604	0,310	0,39044	
	+3,87	0	0	0	3,74	0,0228	0,604	0,310	0,40556	3,87
	0	-0,00019	0	0	3,60	0,02261	0,604	0,310	0,39537	1,26
	0	0	-0,001	0	3,60	0,0228	0,603	0,310	0,39109	0,17
	0	0	0	+0,002	3,60	0,0228	0,604	0,312	0,39050	0,02
									0,41121	5,32
2	0	0	0	0	12,30	0,0486	0,604	0,310	0,42693	
	+1,34	0	0	0	12,465	0,0480	0,604	0,310	0,43260	1,33
	0	-0,00019	0	0	12,30	0,04841	0,604	0,310	0,42856	0,38
	0	0	-0,001	0	12,30	0,0486	0,603	0,310	0,42763	0,16
	0	0	0	+0,002	12,30	0,0486	0,604	0,312	0,42696	0,01
									0,43496	1,88
3	0	0	0	0	23,20	0,0707	0,604	0,310	0,45625	
	+1,31	0	0	0	23,504	0,0707	0,604	0,310	0,46211	1,28
	0	-0,00022	0	0	23,20	0,07048	0,604	0,310	0,45837	0,46
	0	0	-0,001	0	23,20	0,0707	0,603	0,310	0,45700	0,16
	0	0	0	+0,002	23,20	0,0707	0,604	0,312	0,45631	0,01
									0,46496	1,91
4	0	0	0	0	40,10	0,0971	0,604	0,310	0,48517	
	+0,80	0	0	0	40,421	0,0971	0,604	0,310	0,48890	0,77
	0	-0,00033	0	0	40,10	0,09677	0,604	0,310	0,48761	0,50
	0	0	-0,001	0	40,10	0,0971	0,603	0,310	0,48595	0,16
	5	0	0	+0,002	40,10	0,0971	0,604	0,312	0,48528	0,21
									0,49220	1,45
5	0	0	0	0	51,00	0,1115	0,604	0,310	0,49824	
	+0,69	0	0	0	51,352	0,1115	0,604	0,310	0,50148	0,65
	0	-0,00033	0	0	51,00	0,11117	0,604	0,310	0,50039	0,43
	0	0	-0,001	0	51,00	0,1115	0,603	0,310	0,49902	0,16
	0	0	0	+0,002	51,00	0,1115	0,604	0,312	0,49835	0,02
									0,50452	1,20

Аналогичные кривые возможных ошибок построены нами и для опытов с водосливом в тонкой стенке, произведенных в гидролаборатории МИИТ для случая $\alpha = 45^\circ$ и $b = 0,707$ м. Они приведены на рис. 58 и 59.

Из рассмотрения этих графиков видно, что характер их остается в основном таким же, как и аналогичных графиков на рис. 56 и 57, несколько меняются только числовые значения возможных ошибок.

То же можно сказать и о возможных ошибках всех остальных серий наших опытов.

Чтобы не загромождать отчет, мы их не приводим.

В заключение отметим, что действительные ошибки кривых $m = f(h)$, полученных нами конечно меньше чем исчисленные, для этих кривых наибольшие возможные ошибки, так как очень трудно предположить, чтобы все отдельные ошибки в измерениях повлияли бы на величины коэффициентов расхода в какую-либо одну сторону.

ВЫВОДЫ.

В заключение настоящей работы следует сделать выводы, вытекающие из полученных результатов опытов.

Их можно разделить на три группы:

I. Выводы, касающиеся коэффициентов расхода косых водосливов, незатопленных и затопленных.

II. Выводы, касающиеся распределения скоростей и давлений в струе водосливов с тонкой стенкой.

III. Выводы, касающиеся методики производства лабораторных опытов.

I

1. Коэффициенты расхода косых водосливов при наличии нерабочей части водослива и подпора вдоль гребня от стеснения вертикальными стенками выхода воды с водослива меньше коэффициентов расхода нормальных водосливов и зависят от угла поворота гребня водослива в плане и отношения ширины подводящего канала к высоте водослива, причем пропускная способность косых водосливов при одном и том же напоре и ширине подводящего канала все же больше пропускной способности нормальных водосливов.

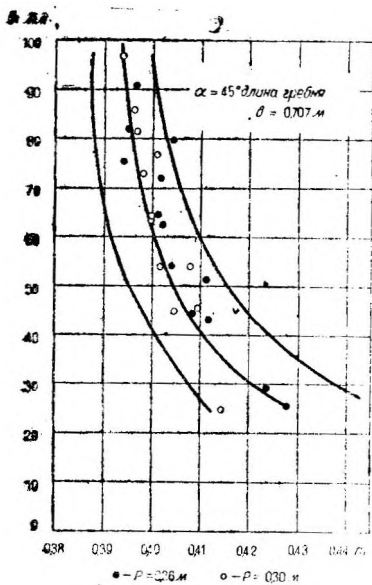


Рис. 59.

2. Коэффициенты расхода косых водосливов при устранении подпора вдоль гребня водослива и нерабочей части гребня практически равны коэффициентам расхода нормальных водосливов, причем пропускная способность при одном и том же напоре и ширине подводящего канала увеличивается пропорционально длине гребня.

3. Для затопленных водосливов косина водослива в плане как при стесненном выходе воды, так и при выходе воды нормально к гребню не влияет на коэффициент затопления водослива.

II

4. Распределение скоростей и давлений в каждой точке сжатого сечения струи косого водослива с тонкой стенкой также подчиняется уравнению Бернулли, как и в случае нормального водослива.

III

5. Для получения наивозможно меньших ошибок при лабораторных опытах следует обращать особое внимание на точность измерения расходов (желательно определять расходы весовым или объемным способом), так как больший процент ошибок падает на расход.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

На основе рассмотрения полученных выводов можно рекомендовать при проектировании косых водосливов следующее.

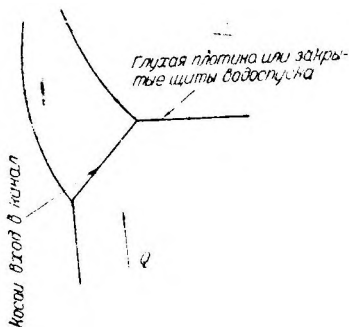


Рис. 60.

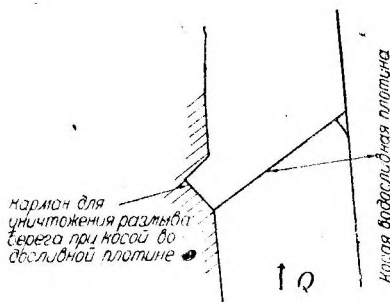


Рис. 61.

1. Коэффициенты расхода косых водосливов при наличии плавного подвода воды к сооружению (без острых углов в плане) и отсутствии стеснения выхода воды с водослива [что в большинстве случаев практики и наблюдается, например для схем при косом входе в канал (рис. 60); при косой водосливной плотине (рис. 61)] следует принимать равными коэффициентам расхода нормального водослива того же профиля¹⁹.

¹⁹ Коэффициенты расхода различных профилей водосливов см. проф. Павловский, Гидравлический справочник, 1924 г., Creager, Engineering for masonry dams, Weirauch, Hydraulische Rechnen.

2. При невозможности устранить острые углы между гребнем водослива и подводными стенками в плане, а также и стеснения выхода воды с водослива (что на практике встречается очень редко) в каждом отдельном случае необходимы лабораторные исследования, если соотношения ширины подводного канала к высоте водослива не будут близкими к тем, над которыми имеются уже наблюдения.

Отсутствие до сего времени анализа работы косых водосливов (при проектировании их всегда принимались уменьшенные коэффициенты расхода по сравнению с нормальными) влекло за собой в большинстве случаев преувеличенные длины водосливов, а следовательно и излишние затраты на сооружения.

Результаты опытов настоящей работы указывают на возможность более рационального проектирования косых водосливов и меньших затрат при одном и том же эффекте.

**Коэффициенты расхода для водосливов с тонкой стенкой
(опыты в стеклянном лотке)**

№	<i>b</i> , м	<i>P</i> , м	<i>Q</i> л/сек	<i>h</i> , м	<i>m</i>	Примечания
$\alpha = 90^\circ$						
1	0,500	0,300	4,40	0,0272	0,44288	<i>b</i> — длина гребня модели <i>P</i> — высота модели <i>Q</i> — расход воды <i>h</i> — напор <i>m</i> — коэффициент расхода, освобожденный от учета скорости подхода
2			4,65	0,0283	0,44100	
3			8,30	0,0429	0,42310	
4			12,15	0,0552	0,41959	
5			17,45	0,0704	0,41736	
6			21,10	0,0798	0,41712	
7			26,15	0,0921	0,41565	
8			31,05	0,1025	0,41922	
9			35,35	0,1115	0,41909	
10			37,75	0,1174	0,41418	
11			35,35	0,1121	0,41578	
12			32,40	0,1057	0,41739	
13			28,60	0,0981	0,41269	
14			25,05	0,0897	0,41475	
15			22,15	0,0822	0,41825	
16			17,40	0,0699	0,42060	
17			14,10	0,0610	0,41947	
18			7,60	0,0403	0,42258	
19			4,75	0,0291	0,43204	
$\alpha = 75^\circ$						
1	0,517	0,260	5,20	0,0307	0,41975	
2			14,95	0,0626	0,41191	
3			19,80	0,0750	0,41433	
4			24,45	0,0868	0,40967	
5			29,15	0,0959	0,41873	
6			38,45	0,1158	0,41317	
7			29,15	0,0968	0,41299	
8			24,25	0,0865	0,40847	
9			19,75	0,0751	0,41243	
10			14,95	0,0619	0,41886	
11			10,40	0,0488	0,41878	
12			5,15	0,0302	0,42633	
1	0,517	0,300	5,45	0,0313	0,42766	
2			10,45	0,0490	0,41809	
3			15,05	0,0629	0,41265	
4			19,75	0,0753	0,41243	
5			24,70	0,0873	0,41180	
6			29,25	0,0974	0,41257	
7			24,55	0,0872	0,41000	
8			19,70	0,0748	0,41545	
9			14,95	0,0620	0,41886	
10			10,40	0,0486	0,42135	
11			5,40	0,0308	0,43435	

№	b_m	P_m	$Q_{л/сек}$	h_m	t	Примечания
$\alpha = 60^\circ$						
1	0,577	0,260	5,85	0,0290	0,42158	
2			10,95	0,0473	0,41261	
В			15,65	0,0594	0,41763	
4			20,65	0,0720	0,40510	
5			24,40	0,0806	0,40884	
6			23,90	0,0798	0,40638	
7			28,65	0,0894	0,40899	
8			28,35	0,0890	0,40718	
9			24,00	0,0794	0,41109	
10			20,60	0,0718	0,41116	
11			15,85	0,0603	0,41265	
12			11,00	0,0476	0,41049	
13			5,40	0,0292	0,42134	
$\alpha = 45^\circ$						
1	0,577	0,300	5,60	0,0292	0,43709	
2			13,15	0,0524	0,42527	
3			16,65	0,0621	0,41599	
4			20,15	0,0706	0,41409	
5			29,30	0,0903	0,41285	
6			24,65	0,0811	0,41073	
7			20,45	0,0717	0,41071	
8			15,50	0,0592	0,41676	
1	0,707	0,260	5,55	0,0258	0,42516	
2			12,15	0,0445	0,40790	
3			16,15	0,0540	0,40416	
4			21,00	0,0645	0,40091	
5			26,20	0,0753	0,39388	
6			29,90	0,0811	0,39498	
7			35,10	0,0906	0,39651	
8			29,30	0,0795	0,40432	
9			24,90	0,0720	0,40148	
10			20,15	0,0626	0,40210	
11			15,30	0,0516	0,41102	
12			11,65	0,0431	0,41150	
13			6,65	0,0292	0,42359	
1	0,707	0,300	12,65	0,0457	0,40937	
2			16,25	0,0540	0,40776	
3			20,80	0,0644	0,39987	
4			27,35	0,0769	0,40010	
5			32,10	0,0861	0,39532	
6			38,35	0,0970	0,39312	
7			29,60	0,0814	0,39674	
8			25,10	0,0730	0,39813	
9			20,40	0,0636	0,39947	
10			16,00	0,0540	0,40155	
11			12,25	0,0451	0,40445	
12			5,10	0,0248	0,41427	

**Коэффициенты расхода для незатопленных водосливов практического профиля
(опыты в стеклянном лотке)**

№	b м	P м	Q л/сек	h м	m	Примечания
$\alpha = 90^\circ$						
1	0,603	0,303	3,65	0,0226	0,40223	b — длина гребня модели P — высота модели, Q — расход воды A — напор m — коэффициент расхода, освобожденный от учета скорости подхода
2			7,35	0,0351	0,41668	
3			10,90	0,0446	0,43182	
4			14,20	0,0524	0,44069	
5			19,70	0,0638	0,45341	
6			28,80	0,0803	0,46687	
7			38,70	0,0957	0,47960	
8			50,10	0,1124	0,48477	
9			62,85	0,1284	0,49299	
10			72,65	0,1391	0,50307	
11			78,00	0,1458	0,50268	
12			73,85	0,1403	0,50496	
13			64,45	0,1301	0,49637	
14			58,05	0,1224	0,49178	
15			51,30	0,1140	0,48550	
16			46,10	0,1065	0,48427	
17			40,80	0,0990	0,48017	
18			31,80	0,0853	0,47043	
19			26,05	0,0757	0,46184	
20			22,05	0,0685	0,45548	
21			16,05	0,0564	0,44507	
22			9,40	0,0410	0,42238	
23			3,25	0,0210	0,39985	
$\alpha = 75^\circ$						
1	0,624	0,303	7,35	0,0334	0,43370	
2			13,10	0,0483	0,44373	
3			19,65	0,0596	0,48373	
4			24,55	0,0708	0,46555	
5			29,00	0,0788	0,46718	
6			38,70	0,0936	0,47893	
7			52,50	0,1134	0,48327	
8			59,20	0,1222	0,48523	
9			68,75	0,1339	0,48841	
10			76,90	0,1430	0,49265	
11			74,90	0,1405	0,49334	
12			67,20	0,1323	0,48690	
13			56,90	0,1191	0,48488	
14			50,85	0,1115	0,48050	
15			41,95	0,0989	0,47709	
16			32,35	0,0846	0,46733	
17			27,55	0,0766	0,46378	
18			24,45	0,0711	0,46075	
19			19,70	0,0625	0,45181	
20			15,20	0,0532	0,44441	
21			13,50	0,0496	0,43949	
22			11,40	0,0447	0,43350	
23			9,85	0,0402	0,44049	
24			7,85	0,0355	0,41548	
25			6,40	0,0307	0,42837	
26			3,65	0,0217	0,41311	
27			3,25	0,0203	0,42180	

№	b м	p м	Q л/сек	h м	t	Примечания
$\alpha = 60^\circ$						
1			4,15	0,0225	0,40000	
2			6,70	0,0306	0,40520	
3			11,30	0,0423	0,41954	
4			14,80	0,0499	0,42806	
5			20,20	0,0604	0,43831	
6			26,20	0,0708	0,44579	
7			34,20	0,0836	0,45213	
8			42,10	0,0947	0,45829	
9			51,30	0,1071	0,46182	
10			59,15	0,1173	0,46231	
11			65,50	0,1249	0,46412	
12	0,694	0,303	74,85	0,1353	0,46885	
13			73,60	0,1338	0,46636	
14			67,90	0,1173	0,52478	
15			58,20	0,1160	0,47687	
16			51,15	0,1073	0,45921	
17			44,00	0,0978	0,45590	
18			37,85	0,0890	0,45077	
19			27,75	0,0737	0,44393	
20			20,60	0,0612	0,43724	
21			14,95	0,0506	0,42350	
22			10,30	0,0401	0,41570	
23			5,70	0,0276	0,40440	
24			4,20	0,0228	0,39685	
$\alpha = 45^\circ$						
1			3,70	0,0189	0,37688	
2			6,00	0,0258	0,38097	
3			11,00	0,0379	0,39884	
4			15,15	0,0463	0,39860	
5			20,20	0,0551	0,40779	
6			26,55	0,0654	0,41349	
7			34,95	0,0779	0,41580	
8			44,35	0,0903	0,41996	
9			52,80	0,1007	0,42213	
10			60,40	0,1108	0,41642	
11			66,20	0,1182	0,41270	
12	0,853	0,303	75,55	0,1278	0,41647	
13			74,90	0,1268	0,41762	
14			66,35	0,1173	0,41825	
15			57,20	0,1067	0,41838	
16			52,00	0,1002	0,41938	
17			43,85	0,0900	0,41727	
18			34,70	0,0777	0,41440	
19			26,20	0,0649	0,41270	
20			20,40	0,0556	0,40634	
21			15,35	0,0467	0,39871	
22			10,95	0,0380	0,38970	
23			6,70	0,0277	0,38258	
24			3,05	0,0168	0,37070	

Коэффициенты расхода для водосливов с тонкой стенкой с боковым сжатием
(опыты в стеклянном лотке)

№	b_0 м	b м	P м	Q л/сек	h м	m	Примечания
$\alpha = 90^\circ$							
1	0,500	0,340	0,300	4,56	0,0369	0,42451	b_0 — ширина лотка b — длина гребня модели P — высота модели Q — расход воды h — напор m — коэффициент расхода, освобожденный от учета скорости подхода
2				10,75	0,0670	0,40976	
3				19,75	0,1005	0,40796	
4				21,95	0,1085	0,40446	
5				26,20	0,1228	0,39987	
6				30,15	0,1345	0,40104	
7				37,60	0,1560	0,39943	
8				27,05	0,1244	0,40495	
9				22,95	0,1115	0,40547	
10				20,70	0,1046	0,40282	
11				16,20	0,0888	0,40378	
12				10,15	0,0647	0,40763	
13				5,75	0,0435	0,41937	
$\alpha = 60^\circ$							
1	0,500	0,417	0,300	5,65	0,0372	0,42462	
2				10,55	0,0571	0,41643	
3				16,20	0,0766	0,41048	
4				20,10	0,0886	0,40848	
5				24,00	0,1002	0,40480	
6				28,25	0,1118	0,40317	
7				27,60	0,1102	0,40296	
8				24,20	0,1003	0,40757	
9				20,00	0,0884	0,40781	
10				16,30	0,0769	0,41061	
11				10,70	0,575	0,41796	
12				5,65	0,0371	0,42634	
$\alpha = 45^\circ$							
1	0,500	0,547	0,300	6,70	0,0349	0,42232	
3				13,70	0,0555	0,42898	
4				18,10	0,0680	0,41667	
5				21,25	0,0762	0,41127	
6				24,35	0,0836	0,40914	
7				30,40	0,0972	0,40586	
8				34,25	0,1057	0,40218	
9				28,35	0,0931	0,40406	
10				25,00	0,0855	0,40628	
11				22,45	0,0788	0,41257	
12				15,10	0,0602	0,41776	
13				10,85	0,0483	0,41925	
13				4,55	0,0261	0,44535	

¹ Табл. 3 см. стр. 74.

Коэффициенты расхода для затопленных водосливов практического профиля
(опыты в стеклянной лотке)

№	b м	P м	Q л/сек	h м	$\frac{h_n}{m}$	$\frac{h_n}{h}$	m	m'	σ_3	Примечания		
$\alpha = 90^\circ$												
I	0,603	0,303	67,00				0,49522					
1				0,1336	—	0,235					0,49361	0,997
2				0,1339	0,0323	0,447					0,48967	0,989
3				0,1346	0,0617	0,447					0,48967	0,989
4				0,1367	0,0811	0,579					0,47886	0,967
5				0,1405	0,0996	0,693					0,4605	0,930
6	0,1808	0,1535	0,837	0,31912	0,644				b — длина гребня модели P — высота модели Q — расход воды h — напор h_n — величина подтопления			
II	0,603	0,303	58,95				0,49056					
1				0,1238	—	0,014					0,49017	0,999
2				0,1239	0,0018	0,244					0,48894	0,997
3				0,1241	0,0310	0,244					0,48894	0,997
4				0,1251	0,0622	0,487					0,48366	0,986
5				0,1291	0,0904	0,686					0,46166	0,941
6				0,1500	0,1198	0,786					0,37096	0,756
7	0,783	0,1560	0,865	0,28801	0,587			$\frac{h_n}{h}$ — относительное затопление m — коэффициент расхода, освобожденный от учета скорости подхода для незатопленного водослива m' — то же для затопленного водослива σ_3 — коэффициент затопления				
III	0,603	0,303	50,45				0,48498					
1				0,1128	—	0,022					0,48498	1,000
2				0,1128	0,0025	0,263					0,48371	0,997
3				0,1130	0,0303	0,263					0,48371	0,997
4				0,1141	0,0601	0,526					0,47685	0,983
5				0,1221	0,0933	0,752					0,43205	0,891
6				0,1480	0,1261	0,842					0,32578	0,672
7	0,1656	0,1470	0,879	0,27627	0,570							

IV			39,45						
1				0,0971			0,47777		
2				0,0971	0,0013	0,013		0,47777	1,000
3				0,0974	0,0325	0,329		0,47559	0,995
4	0,603	0,303		0,0991	0,0618	0,615		0,46354	0,970
5				0,1113	0,0900	0,799		0,39090	0,818
6				0,1442	0,1290	0,888		0,26669	0,558
V			30,35						
1				0,0830			0,46756		
2				0,0830	0,0016	0,019		0,46756	1,000
3				0,0832	0,0230	0,273		0,46590	0,996
4	0,603	0,303		0,0940	0,0425	0,501		0,45933	0,982
5				0,0874	0,0666	0,755		0,43379	0,928
6				0,1097	0,0855	0,774		0,30936	0,662
7				0,1258	0,1140	0,901		0,25256	0,540
VI			20,55						
1				0,0656			0,45370		
2				0,0656	0,0005	0,008		0,45370	1,000
3	0,603	0,303		0,0659	0,0248	0,374		0,45068	0,993
4				0,0674	0,0463	0,683		0,43582	0,961
5				0,0785	0,0681	0,863		0,34716	0,765
6				0,1027	0,0953	0,924		0,23241	0,512
VII			10,10						
1				0,0430			0,42242		
2				0,0429	0,0014	0,033		0,42389	1,003
3	0,603	0,303		0,0433	0,0217	0,500		0,41803	0,987
4				0,0483	0,0421	0,870		0,35506	0,841
5				0,0622	0,0574	0,921		0,24314	0,576
6				0,0726	0,0692	0,952		0,19291	0,457

№	b м	P м	Q л/сек	h м	$\frac{h_n}{m}$	$\frac{h_n}{h}$	m	m'	σ_3	Примечания
$\alpha = 75^\circ$										
I			72,00							
1				0,1381			0,48784			
2				0,1384	0,0020	0,014		0,48630	0,997	
3				0,1390	0,0393	0,275		0,47989	0,984	
4	0,024	0,303		0,1398	0,0709	0,494		0,47590	0,976	
5				0,1486	0,1025	0,673		0,43871	0,899	
6				0,1645	0,1346	0,802		0,37898	0,777	
7				0,1852	0,1608	0,854		0,37881	0,654	
II			56,40							
1				0,1182	—		0,48661			
2				0,1182	0,0019	0,016		0,48661	1,100	
3				0,1184	0,0328	0,271		0,48540	0,998	
4	0,624	0,303		0,1197	0,0665	0,544		0,47768	0,982	
5				0,1325	0,1035	0,767		0,41183	0,846	
6				0,1582	0,1391	0,868		0,31794	0,653	
7				0,1771	0,1623	0,907		0,26944	0,554	
III			39,85							
1				0,0957	—		0,47650			
2				0,0957	0,0049	0,050		0,47650	1,000	
3	0,624	0,303		0,0961	0,0327	0,335		0,47357	0,994	
4				0,0974	0,0579	0,586		0,46425	0,974	
5				0,1110	0,0925	0,824		0,38311	0,804	
6				0,1454	0,1941	0,915		0,25712	0,540	

IV			25,15						
1				0,0723			0,46229		
2				0,0725	0,0242	0,381		0,46039	0,996
3	0,624	0,303		0,0745	0,0495	0,659		0,44213	0,956
4				0,0888	0,0796	0,890		0,34040	0,736
5				0,1137	0,1069	0,936		0,23578	0,510
V			10,00						
1				0,0413	—		0,42950		
2				0,0413	0,0010	0,024		0,42950	1,000
3				0,0415	0,0216	0,519		0,42641	0,993
4	0,624	0,303		0,0492	0,0441	0,895		0,33051	0,770
5				0,0627	0,0589	0,938		0,22989	0,535
8				0,0616	0,0680	0,948		0,18844	0,439
I			74,10		$\alpha = 60^\circ$				
1				0,1357			0,46166		
2				0,1357	0,0037	0,026		0,46166	1,000
3				0,1360	0,0277	0,198		0,46016	0,997
4	0,694	0,303		0,1374	0,0662	0,468		0,45335	0,982
5				0,1416	0,0909	0,625		0,43433	0,941
6				0,1593	0,1265	0,777		0,36656	0,794
7				0,1771	0,1583	0,878		0,31460	0,681
II			54,75						
1				0,1122	—		0,45910		
2				0,1122	0,0002	0,002		0,45910	1,000
3				0,1126	0,0313	0,272		0,45669	0,995
4	0,694	0,303		0,1137	0,0608	0,524		0,45023	0,981
5				0,1233	0,0939	0,748		0,40013	0,872
6				0,1400	0,1216	0,856		0,33272	0,725
7				0,1737	0,1604	0,914		0,24225	0,528

№	b m	P m	Q $л/сек$	h m	h_n m	$\frac{h_n}{h}$	m	m'	Примечания				
III	0,694	0,303	39,05	0,0918	—	0,019	0,45675	0,45675	1,000				
1				0,0918	0,0018						0,342	0,45456	0,995
2				0,0921	0,0320						0,689	0,42951	0,940
3				0,0957	0,069						0,861	0,34304	0,751
4				0,1115	0,0971						0,938	0,24084	0,527
5				0,1411	0,1334								
G													
IV	0,694	0,303	26,20	0,0711	—	0,356	0,44299	0,44299	0,44115	0,996			
1				0,0711	0,0005						0,735	0,41661	0,940
2				0,0713	0,0256						0,900	0,31292	0,704
3				0,0741	0,0550						0,943	0,22522	0,508
4				0,0901	0,0816								
5				0,1121	0,1063								
6													
V	0,694	0,303	9,90	0,0395	—	0,033	0,40867	0,40867	1,000				
1				0,0395	0,0013						0,548	0,34424	0,842
2				0,0395	0,0217						0,851	0,19404	0,475
3				0,0395	0,0378						0,948	0,17924	0,438
4				0,0443	0,0378								
5				0,0650	0,0617								
6	0,0685	0,0656											

					$\alpha = 45^\circ$				
I			71,30						
1				0,1239			0,41304		
2				0,1243	0,0289	0,233		0,41304	0,995
3	0,853	0,303		0,1249	0,0609	0,487		0,41111	0,988
4				0,1329	0,0983	0,740		0,40824	0,905
5				0,1553	0,1368	0,881		0,37378	0,722
6				0,1795	0,1681	0,936		0,29849	0,585
II			55,85						
1				0,1050	—		0,41881		
2				0,1050	0,0002	0,002		0,41881	1,000
3	0,853	0,303		0,1052	0,0289	0,275		0,41763	0,997
4				0,1061	0,0574	0,541		0,41245	0,985
5				0,1184	0,0963	0,813		0,35157	0,839
6				0,1679	0,1590	0,947		0,21107	0,504
III			40,50						
1				0,0852	—		0,41988		
2				0,0857	0,0312	0,364		0,41843	0,997
3	0,853	0,303		0,0884	0,0634	0,717		0,39767	0,947
4				0,1011	0,0876	0,796		0,32664	0,778
5				0,1387	0,1314	0,947		0,20485	0,488
IV			26,80						
1				0,0657	—		0,41362		
2				0,0659	0,211	0,320		0,41269	0,998
3	0,853	0,303		0,0692	0,0539	0,779		0,39233	0,948
4				0,0869	0,0790	0,909		0,27358	0,661
5				0,1094	0,1043	0,953		0,19442	0,470
V			13,05						
1				0,0422	—		0,39652		
2				0,0424	0,0196	0,462		0,39282	0,991
3	0,853	0,303		0,0477	0,0409	0,857		0,32947	0,831
4				0,0753	0,0709	0,942		0,16649	0,420

**Коэффициенты расхода для незатопленных водосливов с тонкой стенкой
(опыты в бетонном лотке)**

№	b м	p м	Q л/сек	h м	m	Примечания
$\alpha = 90^\circ$						
1	0,304	0,295	4,90	0,0413	0,43199	b — длина гребня модели p — высота модели Q — расход воды h — напор m — коэффициент расхода, освобожденный от учета скорости подхода
2			6,60	0,0502	0,43319	
3			9,55	0,0663	0,41172	
4			9,70	0,0649	0,43170	
5			12,05	0,0755	0,42628	
6			14,30	0,0818	0,42403	
7			15,00	0,0865	0,43112	
8			19,35	0,1038	0,42175	
9			20,85	0,1092	0,42039	
10			22,40	0,1157	0,41408	
11			25,75	0,1255	0,42153	
12			27,15	0,1308	0,41569	
13			27,85	0,133	0,41883	
14			32,10	0,1443	0,42210	
15			32,65	0,1469	0,41770	
16			30,55	0,1401	0,42043	
17			27,75	0,1315	0,42107	
18			24,65	0,1217	0,42127	
19			22,90	0,1160	0,42117	
20			19,60	0,1044	0,42356	
21			16,30	0,0917	0,42888	
22			9,75	0,0652	0,43094	
23			4,45	0,0382	0,44091	
1	0,598	0,295	9,08	0,0399	0,42849	
2			21,37	0,0709	0,42287	
3			29,10	0,0870	0,42228	
4			38,35	0,1049	0,41834	
5			58,60	0,1284	0,42124	
6			54,72	0,1317	0,42168	
7			36,45	0,1008	0,42242	
8			22,03	0,0721	0,42517	
9			17,15	0,0611	0,42556	
10			10,92	0,0449	0,43187	
11			2,30	0,0279	0,42375	
12			22,50	0,0737	0,42010	
13			87,50	0,1032	0,41926	
14			49,70	0,1239	0,41991	
15			57,50	0,1364	0,41926	
16			47,80	0,1207	0,42038	
17			37,10	0,1024	0,41941	
18			31,40	0,0916	0,42137	
19			23,80	0,0762	0,4221	
20			20,90	0,0699	0,42241	
21			14,40	0,0544	0,42610	

№	b м	P м	Q л/сек	h м	t	Примечания
1	1,004	0,295	9,80	0,0290	0,44743	
2			13,35	0,0360	0,43766	
3			17,95	0,0440	0,43584	
4			22,85	0,0517	0,43455	
5			27,30	0,0588	0,42726	
6			32,95	0,0666	0,42723	
7			39,30	0,0749	0,42394	
8			44,50	0,0812	0,42693	
9			53,30	0,0913	0,42741	
10			58,50	0,0969	0,42877	
11			67,65	0,1076	0,42271	
12			56,65	0,0953	0,42560	
13			48,00	0,0854	0,42648	
14			39,70	0,0751	0,42860	
15			32,20	0,0653	0,42996	
16			24,75	0,0544	0,43502	
17			19,25	0,0460	0,39521	
18			14,95	0,0388	0,43816	
19			12,35	0,0341	0,43908	
20			8,45	0,0260	0,45321	
$\alpha = 45^\circ$						
1	0,856	0,301	9,80	0,0326	0,43710	Опыты производи- лись на модели с на- правляющими стенками в нижнем бьефе, поста- вленными нормально к гребню модели (см. схему рис. 35)
2			17,55	0,0489	0,42284	
3			27,20	0,0657	0,41832	
4			36,45	0,0805	0,41090	
5			44,75	0,0923	0,40887	
6			47,90	0,0965	0,40803	
7			52,10	0,1022	0,40618	
8			61,70	0,1142	0,40506	
9			62,80	0,1155	0,40241	
10			55,35	0,1063	0,40621	
11			50,65	0,1006	0,40530	
12			46,55	0,0952	0,40513	
13			41,70	0,0885	0,40665	
14			37,60	0,0824	0,40879	
15			32,55	0,0743	0,41464	
16			28,70	0,0682	0,41672	
17			24,65	0,0611	0,42316	
18			20,05	0,0531	0,42613	
19			14,40	0,0426	0,42892	
20			6,70	0,0251	0,44171	

№	b м	P м	Q л/сек	h м	m	Примечания
1	0,856	0,301	6,15	0,0232	0,45607	Опыты производились на модели с одной направляющей стенкой в тупом углу, стенка в остром углу снята (см. схему на рис. 36)
2			9,50	0,0321	0,43364	
3			13,45	0,0409	0,42573	
4			17,45	0,0486	0,42430	
5			20,75	0,0548	0,42083	
6			24,75	0,0616	0,41978	
7			31,00	0,0722	0,41282	
8			34,05	0,0767	0,41303	
9			38,35	0,0829	0,41323	
10			42,25	0,0887	0,40996	
11			45,60	0,0931	0,41073	
12			50,55	0,0999	0,40805	
13			56,50	0,1074	0,40788	
14			64,90	0,1183	0,40317	
1	0,852	0,301	9,65	0,0324	0,43642	Опыты производились на модели со снятыми направляющими стенками в нижнем бьефе (см. схему на рис. 37)
2			13,15	0,0403	0,42751	
3			16,75	0,0475	0,42471	
4			18,55	0,0508	0,42429	
5			21,30	0,0557	0,42362	
6			23,65	0,0600	0,42008	
7			26,80	0,0649	0,42169	
8			30,00	0,0709	0,41318	
9			33,15	0,0758	0,41191	
10			36,15	0,0799	0,41398	
11			38,75	0,0838	0,41288	
12			41,85	0,0888	0,40799	
13			44,80	0,0928	0,40799	
14			47,70	0,0967	0,40761	
15			53,25	0,1038	0,40771	
16			65,10	0,1182	0,40681	
1	0,755	0,301	11,85	0,0400	0,43962	Опыты производились с плавной вставкой в остром углу перед моделью в верхнем бьефе (см. схему на рис. 38)
2			14,95	0,0470	0,43455	
3			17,45	0,0522	0,43377	
4			21,55	0,0600	0,43303	
5			25,75	0,0678	0,42947	
6			29,10	0,0734	0,42965	
7			33,25	0,0805	0,42654	
8			39,95	0,0908	0,42601	
9			44,00	0,0969	0,42495	

Коэффициенты расхода для незатопленных водосливов практического профиля (опыты и бетонном лотке)

№	b м	b_n м	P м	h л/сек	h м	m	Примечания
$\alpha = 90^\circ$							
1	0,604	0,604	0,310	3,60	0,0228	0,39050	b — длина гребня модели b_n — ширина лотка P — высота модели h — напор m — коэффициент расхода, освобожденный от учета скорости подхода
2				7,95	0,0369	0,41757	
3				12,30	0,0486	0,42673	
4				17,35	0,0590	0,44900	
5				23,20	0,0707	0,45914	
6				27,90	0,0787	0,46590	
7				33,20	0,0876	0,47065	
8				40,10	0,0971	0,48499	
9				45,80	0,1054	0,48775	
10				51,00	0,1115	0,49801	
11				45,10	0,1045	0,48721	
12				36,45	0,0919	0,47982	
13				19,90	0,0643	0,45137	
14				16,50	0,0576	0,44235	
15				9,95	0,0422	0,42739	
1	1,008	1,008	0,310	13,00	0,0367	0,41245	
2				19,55	0,0464	0,43527	
3				29,20	0,0594	0,44834	
4				37,00	0,0687	0,45525	
5				44,70	0,0763	0,46857	
6				50,30	0,0816	0,47629	
7				55,70	0,0875	0,47385	
8				61,60	0,0924	0,48096	
9				55,30	0,0870	0,47446	
10				46,45	0,0782	0,46942	
11				37,70	0,0680	0,47098	
12				28,90	0,0592	0,44599	
13				23,00	0,0517	0,43569	
14				17,50	0,0437	0,42750	
15				13,40	0,0370	0,41999	
16				8,55	0,0282	0,40437	
$\alpha = 75^\circ$							
1	0,615	0,600	0,310	6,85	0,0324	0,42930	
2				10,40	0,0420	0,44228	
3				14,30	0,0507	0,45635	
4				19,10	0,0610	0,46040	
5				23,60	0,0693	0,46911	
6				27,40	0,0762	0,47130	
7				32,70	0,0847	0,48032	
8				40,95	0,0964	0,49130	
9				54,10	0,1130	0,50132	
10				57,80	0,1183	0,50508	
11				43,50	0,1065	0,44925	
12				36,80	0,0909	0,48337	
13				25,35	0,0724	0,47137	
14				21,80	0,0659	0,46736	

№	b м	b_2 м	P м	Q л/сек	$Л$ м	m	Примечания
1	1,028	1,000	0,310	10,40	0,0308	0,42118	
2				15,50	0,0397	0,42871	
3				22,00	0,0488	0,44553	
4				27,90	0,0568	0,44906	
5				33,45	0,0633	0,45699	
6				38,00	0,0682	0,46338	
7				43,25	0,0732	0,47311	
8				49,75	0,0797	0,47818	
9				54,75	0,0844	0,48190	
10				58,90	0,0885	0,48218	
11				62,60	0,0922	0,48143	
12				60,45	0,0903	0,47986	
13				54,20	0,0835	0,47476	
14				38,80	0,0689	0,46587	
15				26,35	0,0545	0,45143	
16				18,75	0,0442	0,44122	
17				12,80	0,0349	0,42968	
			$\alpha = 60^\circ$				
1	0,694	0,600	0,310	7,35	0,0321	0,41482	
2				14,30	0,0481	0,43797	
3				29,70	0,0753	0,45963	
4				31,70	0,0784	0,46115	
5				28,25	0,0727	0,46131	
6				22,60	0,0640	0,44867	
7				16,55	0,0625	0,44390	
8				14,30	0,0480	0,43931	
9				11,00	0,0408	0,43218	
10				8,20	0,0340	0,42387	
11				5,50	0,0265	0,41412	
12				3,70	0,0208	0,40085	
13				27,00	0,0717	0,45081	
14				38,55	0,0888	0,46353	
1	1,159	1,000	0,310	21,40	0,0448	0,43688	
2				23,85	0,0488	0,42814	
3				28,50	0,0540	0,43868	
4				32,60	0,0586	0,44321	
5				40,60	0,0663	0,45718	
6				47,60	0,0725	0,46735	
7				54,60	0,0783	0,47633	
8				50,85	0,0758	0,46648	
9				44,80	0,0696	0,46712	
10				37,10	0,0628	0,45376	
11				30,10	0,0557	0,44213	
12				25,80	0,0506	0,43798	
13				23,10	0,0474	0,43492	
14				17,60	0,0401	0,42502	
15				14,60	0,0353	0,41088	

№	b м	b_n м	P м	$Я$ л/сек	h м	t	Примечания
$\alpha = 45^\circ$							
1	0,854	0,600	0,310	2,80	0,0151	0,39866	
2				6,30	0,0259	0,39893	
3				8,50	0,0310	0,40984	
4				11,65	0,0375	0,42117	
5				15,32	0,0445	0,42747	
6				17,90	0,0489	0,43272	
7				20,87	0,0534	0,44114	
8				23,95	0,0580	0,44641	
9				26,30	0,0617	0,44597	
10				28,70	0,0650	0,44922	
11				31,40	0,0687	0,45141	
12				34,20	0,0725	0,45262	
13				38,50	0,0779	0,45583	
14				42,60	0,0829	0,45783	
15				46,05	0,0857	0,46943	
16				49,85	0,0903	0,46852	
17				42,10	0,0807	0,47082	
18				34,38	0,0712	0,46682	
19				25,65	0,0598	0,45576	
20				17,40	0,0475	0,43988	
21				11,45	0,0364	0,43289	
22				1,60	0,0101	0,41670	
1	1,415	1,000	0,310	18,05	0,0357	0,42465	
2				26,80	0,0455	0,43634	
3				32,65	0,0515	0,44909	
4				43,10	0,0611	0,44766	
5				52,20	0,0686	0,45377	
6				58,72	0,0737	0,42409	
7				63,65	0,0778	0,45579	
8				65,10	0,0790	0,45549	
9				57,95	0,0737	0,45144	
10				55,05	0,0703	0,46056	
11				44,80	0,0626	0,44859	
12				36,60	0,0555	0,44058	
13				29,65	0,0488	0,43392	
14				21,80	0,0406	0,42205	
15				15,60	0,0332	0,40960	
16				11,60	0,0279	0,39659	

Таблица 7

Коэффициенты расхода для затопленных водосливов практического профиля
(опыты в бетонном лотке)

№	b м	P м	Q л/сек	h м	h_n м	$\frac{h_n}{h}$	m	m'	σ_3	b_2 м				
$\alpha = 90^\circ$														
I														
1	0,600	0,310	10,75	0,0446	0,0035	0,078	0,42489	0,42489	1,000	0,600				
2				0,0476	0,0377	0,789					0,38546	0,907		
3				0,0754	0,0748	0,990					0,19364	0,456		
4				0,0968	0,0958	0,995					0,18359	0,291		
II	0,600	0,310	17,05	0,0586	0,0438	0,725	0,44576	0,42933	0,963	0,600				
1				0,0601							0,0826	0,911	0,22879	0,513
2				0,0904							0,1246	0,979	0,14029	0,315
3				0,1271							0,1455	0,977	0,11081	0,249
4				0,1488										
III	0,600	0,310	23,45	0,0715	0,0500	0,677	0,45846	0,43631	0,677	0,600				
1				0,3739							0,0719	0,867	0,36722	0,867
2				0,0829							0,1105	0,933	0,21514	0,933
3				0,1184							0,1327	0,971	0,17312	0,971
4				0,1367										
IV	0,600	0,310	29,10	0,0812	0,0561	0,673	0,47703	0,45160	0,947	0,600				
1				0,0834							0,0758	0,831	0,39493	0,828
2				0,0912							0,1131	0,897	0,24301	0,509
3				0,1261							0,1357	0,930	0,19781	0,415
4				0,1448										
I	1,000	0,310	12,40	$\alpha = 90^\circ$			0,36795	0,36795	1,000	1,000				
1				0,0358	0,0073	0,203					0,18850	0,512		
2				0,0600	0,0572	0,952					0,08849	0,240		
3				0,0994	0,0884	0,888					0,05431	0,148		
4	0,1378	0,1270	0,922											
II	1,000	0,310	21,30	0,0495	0,0481	0,864	0,43055	0,36290	0,843	1,000				
1				0,0555							0,0659	0,914	0,24642	0,572
2				0,0719							0,0839	0,948	0,18150	0,421
3				0,0884							0,1037	0,975	0,13784	0,320
4				0,1061										
III	1,000	0,310	27,80	0,0583	0,0007	0,119	0,43893	0,43893	1,000	1,000				
1				0,0705							0,0567	0,801	0,33051	0,753
2				0,0843							0,0725	0,857	0,23303	0,532
3				0,1015							0,0878	0,863	0,19197	0,437

№	b м	P м	Q л/сек	h м	h_n м	$\frac{h_n}{h}$	m	m'	σ_3	b_n м				
IV														
1	1,000	0,310	32,10	0,0635	0,0092	0,144	0,44509	0,44509	1,000	1,000				
2				0,0739	0,0633	0,852		0,35499	0,798					
3				0,0914	0,0825	0,900		0,25891	0,582					
4				0,1091	0,1034	0,945		0,19871	0,446					
5				0,1278	0,1229	0,959		0,15681	0,355					
$\alpha = 75^\circ$														
I														
1	0,615	0,310	10,20	0,0420	0,0415	0,828	0,43336	0,33384	0,770	0,600				
2				0,0500							0,918	0,21183	0,489	
3				0,0682							0,1024	0,10887	0,251	
4				0,1057							0,968	0,10887	0,251	
5				0,1451							0,924	0,06769	0,156	
II														
1	0,615	0,310	17,65	0,0580	0,0031	0,052	0,45082	0,45082	1,000	0,600				
2				0,0632							0,786	0,40749	0,898	
3				0,0798							0,0680	0,849	0,28585	0,634
4				0,1148							0,1052	0,914	0,16678	0,370
5				0,1527							0,1452	0,950	0,10837	0,240
III														
1	0,615	0,310	25,15	0,0740	0,0228	0,306	0,45311	0,45311	1,000	0,600				
2				0,0791							0,0667	0,837	0,41033	0,906
3				0,0929							0,0793	0,848	0,32292	0,713
4				0,1278							0,1184	0,923	0,20090	0,443
5				0,1648							0,1590	0,962	0,13750	0,303
IV														
1	0,615	0,310	33,25	0,0868	0,0026	0,030	0,46927	0,46927	1,000	0,600				
2				0,0941							0,0691	0,727	0,41659	0,877
3				0,1075							0,0854	0,788	0,34200	0,729
4				0,1237							0,1075	0,863	0,27776	0,593
V														
1	0,615	0,310	37,35	0,0928	0,0125	0,133	0,47575	0,47575	1,000	0,600				
2				0,0971							0,0663	0,675	0,44487	0,935
3				0,1086							0,0830	0,756	0,37736	0,793
4				0,1242							0,1038	0,829	0,30950	0,651
5				0,1403							0,1242	0,830	0,25814	0,543

№	b_m	P_m	$Q_{л/сек}$	h_m	$h_{пм}$	$\frac{h_n}{h}$	m	m'	σ_3	$b_{пм}$
I	1,028	0,310	72,80		$\alpha =$	75°	0,42747	0,42747	1,000	1,000
				0,0350	0,0093	0,266				
				0,0488	0,0442	0,904				
				0,0709	0,0675	0,951				
0,1074	0,1065	0,992			0,07987	0,187				
II	1,028	0,310	14,85			- 0,43340		0,26280	0,606	1,000
				0,0383	0,0490	0,914				
				0,0535	0,0678	0,960				
				0,0705	0,1086	0,992				
				0,1094	0,1490	0,997				
0,1494			0,05642	0,130						
III	1,028	0,310	33,75				0,44726	0,44726	1,000	1,000
				0,0646	0,0013	0,020				
				0,0790	0,0678	0,854				
				0,0966	0,0886	0,913				
				0,1330	0,1277	0,958				
0,1538	0,1496	0,977			0,12373	0,277				
IV	1,028	0,310	38,90				0,45038	0,44465	0,087	1,000
				0,0695	0,0321	0,455				
				0,0701	0,0733	0,854				
				0,0853	0,1129	0,946				
				0,1189	0,1345	0,964				
0,1391			0,16009	0,555						
I	0,694	0,310	7,35		$\alpha =$	60°	0,40620	0,40620	1,000	0,600
				0,0325	0,0077	0,236				
				0,0398	0,0344	0,862				
				0,0749	0,0726	0,968				
				0,0935	0,0916	0,980				
0,1256	0,1248	0,994			0,05371	0,132				
II	0,694	0,310	11,60				0,42768	0,42767	1,000	0,600
				0,0425	0,0005	0,012				
				0,0670	0,0608	0,906				
				0,1059	0,1037	0,978				
0,1445	0,1408	0,974			0,06863	0,160				
III	0,694	0,310	18,40				0,44316	0,44216	1,000	0,600
				0,0564	0,0070	0,123				
				0,0591	0,0441	0,741				
				0,0722	0,0524	0,861				
				0,1071	0,1006	0,937				
0,1442	0,1409	0,976			0,10908	0,247				

№	b_m	P_m	$Q_{л/сек}$	h_m	h_n	$\frac{h_n}{h}$	m	m'	σ_3	b_m
IV										
1				0,0702						
2	0,604	0,310	26,85	0,0743	0,0519	0,692	0,46265	0,42525	0,919	0,600
3				0,1076	0,0982	0,908		0,24541	0,630	
$\alpha = 60^\circ$										
I										
1				0,0410						
2				0,0444	0,0366	0,824	0,43016	0,38181	0,888	
3	1,159	0,310	18,40	0,0762	0,0729	0,955		0,17005	0,395	1,000
4				0,0962	0,0941	0,977		0,11994	0,279	
5				0,1361	0,1250	0,999		0,17131	0,166	
II										
1				0,0500	0,0023	0,045	0,44137	0,44137	1,000	
2				0,0542	0,0434	0,797		0,40180	0,911	
3	1,159	0,310	26,25	0,0856	0,0821	0,957		0,20345	0,461	1,000
4				0,1045	0,1023	0,977		0,15093	0,342	
5				0,1441	0,1425	0,988		0,09328	0,211	
III										
1				0,0554	0,0055	0,090	0,44231	0,44231	1,000	
2				0,0696	0,0623	0,891		0,31462	0,711	
3	1,159	0,310	29,85	0,0872	0,0826	0,944		0,22465	0,508	1,000
4				0,1056	0,1016	0,060		0,16872	0,388	
5				0,1438	0,1414	0,082		0,10641	0,241	
$\alpha = 45^\circ$										
I										
1				0,0278	0,0024	0,006	0,41530	0,41530	1,000	
2				0,0295	0,0249	0,822		0,38011	0,893	
3	0,854	0,310	7,30	0,0443	0,0428	0,965		0,20646	0,497	0,600
4				0,0631	0,0619	0,980		0,12043	0,290	
5				0,1241	0,1216	0,980		0,05412	0,130	
II										
1				0,0407			0,43456			
2				0,0438	0,0351	0,798		0,38945	0,806	
3	0,854	0,310	13,60	0,0557	0,0508	0,907		0,27207	0,626	0,600
4				0,0898	0,0873	0,970		0,13396	0,308	
5				0,1257	0,1254	0,997		0,08053	0,185	

№	b_m	P_m	$Q_{л/сек}$	h_m	$h_{нм}$	$\frac{h_n}{h}$	m	m'	σ_3	$b_{лм}$
III 1 2 3 4 5	0,854	0,310	19,90	0,0513	0,0032	0,062	0,44727	0,44727	1,000	0,600
0,0545				0,0430	0,783	0,40876		0,914		
0,0691				0,0617	0,889	0,28713		0,642		
0,1039				0,1002	0,961	0,15627		0,349		
0,1292				0,1269	0,980	0,11287		0,252		
IV 1 2 3 4 5	0,854	0,310	24,95	0,0593	0,0037	0,062	0,44910	0,44910	1,000	0,600
0,0615				0,0434	0,698	0,42554		0,948		
0,0732				0,0638	0,864	0,32894		0,732		
0,1070				0,1011	0,940	0,18711		0,417		
0,1456				0,1408	0,964	0,11779		0,262		
I 1 2 3 4 5	1,415	0,310	11,55	$\alpha = 45^\circ$			0,39757	0,39757	1,000	1,000
0,0277				0,0017	0,061	0,27786			0,699	
0,0352				0,0311	0,881	0,15496			0,390	
0,0520				0,0492	0,944	0,06044			0,152	
0,0976				0,0990	1,014	0,04057			0,102	
II 1 2 3 4 5	1,415	0,310	20,65	0,0399	0,0043	0,107	0,41030	0,41030	1,000	1,000
0,0435				0,0374	0,856	0,36065		0,879		
0,0612				0,0590	0,961	0,21655		0,528		
0,0994				0,0976	0,981	0,10498		0,256		
0,1388				0,1377	0,991	0,06364		0,155		
III 1 2 3 4 5	1,415	0,310	26,25	0,0460	0,0058	0,125	0,42040	0,42040	1,000	1,000
0,0553				0,0481	0,865	0,31945		0,760		
0,0872				0,0842	0,963	0,16209		0,386		
0,1070				0,1052	0,981	0,11933		0,284		
0,1457				0,1440	0,987	0,07515		0,179		
IV 1 2 3 4 5	1,415	0,310	30,70	0,0505	0,0070	0,138	0,42654	0,42654	1,000	1,000
0,0612				0,0536	0,870	0,32038		0,751		
0,0954				0,0917	0,958	0,16545		0,388		
0,1163				0,1131	0,970	0,12302		0,288		
0,1561				0,1545	0,988	0,07927		0,186		
V 1 2 3 4 5	1,415	0,310	35,65	0,0554	0,0027	0,048	0,43037	0,43037	1,000	1,000
0,0565				0,0342	0,600	0,41796		0,971		
0,0683				0,0593	0,863	0,31587		0,734		
0,1022				0,0981	0,952	0,17308		0,402		
0,1410				0,1386	0,981	0,10700		0,249		

Ведомость координат точек нижней (н. п.) и верхней (в. п.) поверхностей падающей струи

$$\alpha = 90^\circ; b = 0,304 \text{ м}; p = 0,295 \text{ м}$$

№	h мм	H м	Q л/сек	$\frac{h}{P}$	Координаты поверхностей струй мм						Примечания
					x_1	y_1	x_2	y_2	x_3	y_3	
1	41,3	23,0	4,90	0,140	4,5 0	3,0 35,4	(5,5 5	3,3 34,2	6,5 10	3,7 32,8	(н. п.) (в. п.)
2	66,3	37,4	9,55	0,225	3,5 0	3,6 57,2	5,5 10	4,7 56,8	6,5 20	5,4 51,3	(н. п.) (в. п.)
3	84,8	49,9	14,30	0,287	7,5 0	6,6 72,7	9,5 10	7,2 70,1	11,5 20	8,0 67,2	(н. п.) (в. п.)
4	109,2	64,8	20,55	0,370	7,5 0	7,5 93,8	12,5 10	9,5 91,5	17,5 20	11,0 88,8	(н. п.) (в. п.)
5	130,6	77,9	27,15	0,443	7,5 0	7,9 112,9	12,5 10	10,7 110,4	17,5 30	12,4 103,9	(н. п.) (в. п.)
6	146,9	88,4	32,65	0,498	7,5 0	8,7 125,9	12,5 20	11,6 121,5	17,5 40	513,5 115,3	(н. п.) (в. п.)
Координаты поверхностей струй мм											Примечания
№	x_4	y_4	x_5	y_5	x_6	y_6	x_7	y_7	x_8	y_8	
1	7,5 15	3,8 30,8	8,5 20	4,0 29,0	9,5 25	4,2 26,6	10,5 30	4,1 23,6	11,5 35	4,1 20,2	(н. п.) (в. п.)
2	7,5 30	5,7 47,4	8,5 40	6,0 42,4	9,5 50	6,4 36,9	10,5 60	6,6 29,4	11,5 70	6,7 22,0	(н. п.) (в. п.)
3	13,5 30	8,3 63,5	16,25 40	8,7 59,4	18,5 50	8,9 54,0	19,5 60	9,1 48,6	20,5 70	9,2 42,3	(н. п.) (в. п.)
4	22,5 30	11,7 85,5	24,5 40	11,6 81,7	27,5 50	12,0 77,6	29,5 60	11,7 73,2	31,5 70	11,7 67,2	(н. п.) (в. п.)
5	22,5 50	13,0 97,0	27,5 60	13,9 92,6	32,5 70	14,6 88,8	37,5 80	14,0 83,9	47,5 90	13,3 77,2	(н. п.) (в. п.)
6	22,5 60	15,0 107,8	27,5 70	15,6 103,0	32,5 80	15,9 99,0	37,5 90	15,8 94,3	42,5 100	16,0 87,7	(н. п.) (в. п.)

Примечания.

 h — напор на модели Q — расход P — высота модели b — длина гребня модели y — ординаты x — абсциссы

} точек поверхностей струи, считая от гребня модели

 y_e — наивысший подъем нижней поверхности струи над гребнем модели x_e — его абсцисса

№	Координаты поверхностей струй мм										Примечания
	x_9	y_9	x_{10}	y_{10}	x_{11}	y_{11}	x_{12}	y_{12}	x_{13}	y_{13}	
1	12,5	4,0	13,75	4,0	15,00	3,91	16,25	3,8	17,5	3,6	(н. п.)
	40	16,5	45	12,5	50	7,4	60	3,7	70	-16,9	(в. п.)
2	12,5	7,0	13,75	7,1	15,00	7,2	16,25	7,1	17,5	7,2	(н. п.)
	80	12,8	90	2,2	100	-9,4	120	-38,8	140	-71,5	(в. п.)
3	21,5	9,1	22,5	9,1	24,5	9,0	26,5	8,9	28,5	8,9	(н. п.)
	80	35,4	90	26,4	100	17,9	120	14,0	140	-31,0	(в. п.)
4	33,5	11,9	35,5	11,3	37,5	11,1	39,5	-1,0	42,5	10,3	(н. п.)
	80	61,4	90	54,3	100	47,8	120	31,6	140	11,3	(в. п.)
5	32,5	12,2	57,5	10,6	62,5	9,7	67,5	8,1	77,5	4,6	(н. п.)
	100	72,6	110	63,9	120	57,5	130	48,4	140	40,0	(в. п.)
6	47,6	15,2	52,5	15,1	57,5	14,6	62,5	13,25	67,5	11,9	(н. п.)
	110	8,25	120	75,1	130	67,8	140	60,7	150	51,6	(в. п.)

№	Координаты поверхностей струй мм										Примечания
	x_{14}	y_{14}	x_{15}	y_{15}	x_{16}	y_{16}	x_{17}	y_{17}	x_{18}	y_{18}	
1	19,5	3,0	21,5	2,2	23,5	1,9	25,5	0,7	27,5	-0,1	(н. п.)
	80	-32,8	90	-50,4	100	69,3	120	-109,3	150	-190,4	(в. п.)
2	18,5	7,1	19,5	7,2	21,5	6,9	22,5	6,8	24,5	6,6	(н. п.)
	160	-103,4									(в. п.)
3	32,5	8,4	37,5	7,6	42,5	6,2	47,5	4,1	57,5	-0,3	(н. п.)
	160	-60,1	180	90,6	200	-123,8					(в. п.)
1	47,5	8,5	52,5	7,6	57,5	5,3	67,5	2,1	77,5	-3,5	(н. п.)
	160	-12,5	180	-38,6	200	-68,1					(в. п.)
5	87,5	0,0	97,5	-16,7	127,5	-25,4	47,5	-43,8	177,5	-71,7	(н. п.)
	150	30,6	170	11,6	200	25,8					(в. п.)
6	72,5	10,6	77,5	9,8	87,5	5,3	97,5	0,3	117,5	-107	(н. п.)
	160	43,2	170	33,4	180	23,4	190	13,0	200	2,9	(в. п.)

№	Координаты поверхностей струй мм								Примечания
	x_{19}	y_{19}	x_{20}	y_{20}	x_{21}	y_{21}	x_{22}	y_{22}	
1	32,5	-2,9	37,5	-5,9	47,5	-13,8	67,5	-36,0	(н. п.)
2	27,5	6,2	32,5	4,7	47,5	-1,1	67,5	-15,3	(н. п.)
3	67,5	-6,6	77,5	-12,2	97,5	-28,8	117,5	-42,2	(н. п.)
4	87,5	-9,2	97,5	-15,7	117,5	-31,6	137,5	-49,8	(н. п.)
5	—	—	—	—	—	—	—	—	(н. п.)
6	137,5	-25,4	157,5	-41,0	177,5	-58,6			(н. п.)

№	Координаты поверхностей струй мм							Примечания
	x_{23}	y_{23}	x_{24}	y_{24}	x_e	y_e	$\frac{y_e}{h}$	
1	97,5	-84,9	127,5	-152,8	11,0	4,15	0,1005	(н. п.)
2	97,5	-44,6	147,5	-118,0	17,0	7,20	0,1086	(н. п.)
3	137,5	-79,1	157,5	-102,3	22,0	9,15	0,1079	(н. п.)
4	157,5	-70,5	—	—	28,0	11,85	0,1092	(н. п.)
5					34,5	14,30	0,1095	(н. п.)
6					37,5	16,10	0,1096	(н. п.)

$$\alpha = 90^\circ; b = 0,598 \text{ м}; \rho = 0,295 \text{ м}$$

№	h мм	H _м	Q л/сек	h ρ	Координаты поверхностей струй мм				Примечания
					x ₁	y ₁	x ₂	y ₂	
1	38,4	36,0	9,05	0,130	4,5 0	3,2 32,7	5,5 10	3,5 30,2	(н. п.) (в. п.)
2	58,9	55,8	16,70	0,200	6,5 0	5,0 50,4	8,5 5	5,4 49,4	(н. п.) (в. п.)
3	77,6	73,8	25,15	0,263	6,5 0	6,1 61,6	8,5 10	6,7 64,6	(п. п.) (в. п.)
4	97,9	89,6	33,35	0,332	6,5 0	6,9 84,0	8,5 10	7,9 82,1	(н. п.) (в. п.)
5	117,7	112,2	47,10	0,399	6,5 0	7,4 102,0	11,5 10	9,7 99,7	(н. п.) (в. п.)
6	137,1	130,8	59,60	0,465	6,5 0	8,3 12,8	11,5 5	11,3 113,3	(н. п.) (в. п.)
Координаты поверхностей струй мм									Примечания
№	x ₃	y ₃	x ₄	y ₄	x ₅	y ₅	x ₆	y ₆	
1	6,5 15	3,9 28,2	7,5 20	4,0 25,9	8,5 25	4,0 23,4	9,5 30	4,1 66,4	(н. п.) (в. п.)
2	10,5 10	6,3 47,9	12,75 15	6,4 46,2	14,0 20	6,5 44,6	15,25 25	6,6 41,8	(н. п.) (в. п.)
3	10,5 20	7,6 61,2	12,75 30	8,0 57,6	15,25 40	8,3 53,2	16,5 50	8,5 47,5	(н. п.) (в. п.)
4	10,5 20	8,9 79,3	12,75 30	9,5 75,9	15,25 40	9,9 71,6	17,5 50	10,8 67,5	(н. п.) (в. п.)
5	16,5 20	11,5 97,3	21,5 30	12,8 93,4	22,5 40	12,8 90,0	23,5 50	12,9 86,3	(н. п.) (в. п.)
6	15,5 10	13,3 117,3	21,5 20	14,2 114,1	26,5 30	14,8 50,2	31,5 40	15,0 107,3	(н. п.) (в. п.)
Координаты поверхностей струй мм									Примечания
№	x ₇	y ₇	x ₈	y ₈	x ₉	y ₉	x ₁₀	y ₁₀	
1	10,5 35	4,2 17,0	11,5 40	4,1 13,0	12,75 45	3,9 8,4	14,0 50	3,6 3,4	(н. п.) (в. п.)
2	16,5 30	6,5 40,6	17,5 35	5,5 37,6	18,5 40	6,3 35,1	20,5 50	6,0 28,9	(н. п.) (в. п.)
3	17,5 50	8,7 41,5	18,5 70	8,7 35,0	19,5 80	8,7 27,1	20,5 90	8,6 18,1	(н. п.) (в. п.)
4	19,5 60	10,9 62,2	21,5 70	11,0 57,0	23,5 80	10,9 50,1	26,5 90	10,9 42,9	(н. п.) (в. п.)
5	24,5 60	13,0 82,0	25,5 70	13,2 77,3	26,5 80	13,0 71,4	27,5 90	13,2 64,3	(н. п.) (в. п.)
6	36,5 50	15,0 107,2	41,5 60	15,0 100,1	46,5 70	14,4 96,9	51,5 80	13,0 91,8	(н. п.) (в. п.)

№	Координаты поверхностей струй мм								Примечания
	x_{11}	y_{11}	x_{12}	y_{12}	x_{13}	y_{13}	x_{14}	y_{14}	
1	15,25	3,5	16,5	3,4	18,5	2,8	21,5	1,7	(н. п.)
	60	-11,2	70	-24,5	80	-40,9	90	-59,2	(в. п.)
2	22,5	5,7	24,5	5,4	26,5	5,1	31,5	3,2	(н. п.)
	60	20,8	70	12,2	80	1,3	90	-11,6	(в. п.)
3	21,5	8,5	23,5	8,4	26,5	8,2	29,5	7,8	(н. п.)
	100	8,8	120	-16,5	140	-45,2	160	-74,7	(в. п.)
4	28,5	10,7	31,5	10,7	36,5	9,9	41,5	8,7	(н. п.)
	100	35,1	110	25,5	120	15,2	130	7,2	(в. п.)
5	28,5	12,9	19,5	13,1	31,5	13,4	36,5	12,7	(н. п.)
	100	59,0	120	42,1	140	25,2	160	3,3	(в. п.)
6	56,5	12,3	61,5	11,3	36,5	8,7	76,5	2,2	(н. п.)
	90	68,4	100	80,8	110	75,1	120	65,9	(в. п.)

№	Координаты поверхностей струй мм								Примечания
	x_{15}	y_{15}	x_{16}	y_{16}	x_{17}	y_{17}	x_{18}	y_{18}	
1	26,5	- 0,4	36,5	6,8	56,5	-25,4	96,5	91,1	(н. п.)
	100	- 84,0	110	- 98,4	120	-19,4	-	-	(в. п.)
2	36,5	1,8	46,5	- 3,7	56,5	-10,3	76,5	- 28,6	(н. п.)
	100	- 24,8	120	- 56,9	140	-90,0	160	-126,2	(в. п.)
3	32,5	7,2	36,5	5,0	46,5	2,8	56,5	- 2,0	(н. п.)
	180	-107,5	200	-146,5	110	- 2,3	130	- 30,1	(в. п.)
4	46,5	7,5	51,5	6,0	56,5	4,2	76,5	- 6,4	(н. п.)
	140	- 8,5	150	- 18,6	150	-31,4	170	- 45,0	(в. п.)
5	41,5	12,2	46,5	11,3	56,5	9,0	65,5	- 51,	(н. п.)
	180	- 20,7	200	- 48,8	-	-	-	-	(в. п.)
6	86,5	2,0	96,5	- 2,3	106,5	- 9,8	116,5	- 14,9	(н. п.)
	130	59,5	140	50,5	160	33,4	180	11,0	(в. п.)

№	Координаты поверхностей струй мм									Примечания
	x_{19}	y_{19}	x_{20}	y_{20}	x_{21}	y_{21}	y_e	y_e	$\frac{y_e}{h}$	
1	116,5	-23,8	76,5	-55,7	46,5	- 25,1	10,0	4,15	0,1081	(н. п.)
2	96,5	-52,5	116,5	-82,5	146,5	-136,9	15,5	6,55	0,1112	(н. п.)
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	76,5	-15,6	116,5	-56,5	175,5	-148,6	19,0	8,70	0,1121	(н. п.)
	150	-60,0	-	-	-	-	-	-	-	(н. п.)
4	96,5	-20,8	146,5	-71,1	176,5	-113,4	24,0	11,00	0,1124	(н. п.)
	180	-59,7	196	-74,2	200	- 89,8	-	-	-	(н. п.)
5	96,5	- 9,9	135,5	-48,5	175,5	- 85,5	28,5	13,07	0,1110	(н. п.)
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	136,5	-28,7	156,5	-49,1	175,5	- 66,9	34,0	15,15	0,1104	(н. п.)
	200	-10,9	-	-	-	-	-	-	-	(н. п.)

Ведомость координат точек нижней (н. п.) и верхней (в. п.) поверхностей падающей струи

$$\alpha = 45^\circ, b = 0,856 \text{ м}, P = 0,301 \text{ м}$$

№	h мм	H_m	Q л/сек	$\frac{h}{P}$	Координаты поверхностей струй мм						Примечания
					x_1	y_1	x_2	y_2	x_3	y_3	
1	43,1	40,8	10,80	0,143	5 0	3,5 36,9	6 10	3,6 34,3	7 20	3,9 30,3	(н. п.) (в. и.)
2	53,3	00,7	15,65	0,177	5 0	4,1 45,7	7 10	4,8 42,9	8,25 20	5,0 39,5	(н. п.) (в. п.)
3	72,5	83,4	30,05	0,241	7 0	5,9 61,5	9,50 10	6,9 59,6	12 20	7,7 56,4	(н. п.) (в. п.)
4	91,3	106,1	43,20	0,303	8,25 0	7,0 77,9	12 20	8,6 73,1	14 30	9,4 69,3	(н. п.) (в. п.)
5	109,5	127,1	57,05	0,364	7 0	7,4 93,5	12 10	9,8 91,4	17 20	14,3 88,4	(н. п.) (в. п.)

№	Координаты поверхностей струй мм												Примечания
	x_4	y_4	x_5	y_5	x_6	y_6	x_7	y_7	x_8	y_8	x_9	y_9	
1	8,25 30	4,2 24,9	9,50 40	4,3 18,4	10,75 50	4,4 10,2	12 60	4,5 -0,4	13 70	4,5 -12,5	14 80	4,5 -26,3	(н. п.) (в. п.)
2	9,50 30	5,3 34,7	10,75 40	5,7 29,1	12 50	5,9 22,1	13 60	5,9 13,1	14 70	5,8 3,9	15 80	5,8 -7,3	(н. п.) (в. п.)
3	14 20	8,0 67,4	16 46	8,4 47,5	18 56	8,3 42,3	20 50	8,4 38,3	22 70	8,2 28,2	24 80	8,2 18,9	(н. п.) (в. п.)
4	16 40	10,0 65,2	18 50	10,3 60,6	20 60	10,7 55,2	22 70	10,7 49,2	24 80	10,7 42,8	26 90	10,5 34,3	(н. п.) (в. п.)
5	32 30	12,0 85,5	24 40	12,4 81,4	25 50	12,6 16,9	28 60	12,9 72,6	30 70	12,9 67,5	32 80	12,9 61,2	(н. п.) (в. п.)

Примечания:

h — напор на модели

Q — расход

P — высота модели

b — длина гребня модели

y — ординаты } точек поверхностей струй, считая от гребня модели

x — абсциссы

y_e — наивысший подъем нижней поверхности струи над гребнем модели

$x_{e\pi}$ — его абсцисса

№	Координаты поверхностей струй мм												Примечания
	x_{10}	y_{10}	x_{11}	y_{11}	x_{12}	y_{12}	x_{13}	y_{13}	x_{14}	y_{14}	x_{15}	y_{15}	
1	15	4,4	16	4,3	17	4,0	13	4,0	19	3,7	20	3,6	(н. п.)
	90	-43,5	100	-63,5	110	82,5	120	-105,3	130	-129,5	140	-155,3	(в. п.)
2	18	5,5	18	5,7	20	5,4	22	5,2	27	4,0	32	2,2	(н. п.)
	90	-21,5	100	-36,4	110	52,5	120	-72,8	130	-90,9	140	-112,2	(в. п.)
3	26	8,1	28	7,6	30	7,3	32	6,7	37	5,1	42	3,6	(н. п.)
	90	9,3	100	-1,6	110	13,9	120	-26,6	130	-42,3	150	-75,1	(в. п.)
4	28	10,5	30	10,3	32	10,1	34	9,9	36	9	38	9,4	(н. п.)
	100	25,9	110	16,3	120	4,8	130	-5,2	130	-31,7	170	-61,3	(в. п.)
5	34	12,4	37	11,9	42	11,5	57	18,9	52	8,9	57	7,3	(н. п.)
	90	55,3	100	46,2	110	38,3	120	29,1	130	21,7	140	10,7	(в. п.)

№	Координаты поверхностей струй мм												Примечания
	x_{16}	y_{16}	x_{17}	y_{17}	x_{18}	y_{18}	x_{19}	y_{19}	x_{20}	y_{20}	x_{21}	y_{21}	
1	21	3,3	22	2,9	27	1,1	32	-1,6	37	-4,2	42	-8,0	(н. п.)
	150	-185,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(в. п.)
2	37	0,4	42	-3,0	47	-6,3	52	-9,7	62	-18,5	72	-28,9	(н. п.)
	150	-136,5	160	160,3	-	-	-	-	-	-	-	-	(в. п.)
3	47	1,0	52	-1,4	51	-4,2	62	-7,5	67	-10,2	72	-14,0	(н. п.)
	170	111,7	190	152,6	-	-	-	-	-	-	-	-	(в. п.)
4	40	8,8	42	6,4	47	6,5	52	8,3	57	3,1	62	0,1	(н. п.)
	190	-94,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(в. п.)
5	72	5,0	72	1,4	92	40,1	92	-10,5	112	-24,5	132	-42,7	(н. п.)
	160	-12,8	180	-38,5	200	66,9	220	101,6	-	-	-	-	(в. п.)

№	Координаты поверхностей струй мм										Примечания	
	x_{22}	y_{22}	x_{23}	y_{23}	x_{24}	y_{24}	x_{25}	y_{25}	y_e	y_e		$\frac{y_e}{h}$
1	47	-12,0	62	-27,2	82	-54,7	112	-112,0	12,0	4,40	0,1021	(н. п.)
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	82	-40,7	92	-64,5	112	-86,3	132	-124,4	14,0	5,90	0,1107	(н. п.)
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	82	-28,0	92	-31,9	112	-56,1	142	-98,3	19,0	8,40	0,1159	(н. п.)
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	82	-11,7	102	-28,3	122	-48,5	142	-71,6	24,0	10,70	0,1172	(н. п.)
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	152	-64,1	172	-86,9	-	-	-	-	29,0	12,90	0,1178	(н. п.)
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Замеры распределений скоростей в давлений в сжатом сечении струи

№	г.д.с. на 1 лог. м	h м напор	$h_0 = h + \frac{v_0^2}{2g}$	b м длина гребня	z м расстояние точек от гребня	v м/сек	p/γ м давление		Примечания
							по при- бору	по пьезо- метрам в стенке	
$\alpha = 90^\circ$									
1	85,60	0,1255	0,1276	0,3040	0,0210	1,330	0,0132	—	Замеры скоростей и давлений про- изводились на ко- сом водосливе при выходе воды с мо- дели нормально к гребню
2					0,0410	1,128	0,0190	0,0227	
3					0,0615	0,968	0,0160	0,0176	
4					0,0805	0,871	0,0082	0,0098	
$\alpha = 45^\circ$									
1	49,80	0,0906	0,0923	0,856	0,0666	—	0,0055		
2					0,0569	—	0,0095		
3					0,0469	0,765	0,0148		
4					0,0407	0,805	0,0160		
5					0,0307	0,882	0,0190		
6					0,0257	0,910	0,0158		
7					0,0207	0,953	0,0150		
8					0,0155	—	0,0140		
9					0,0135	—	0,0120		

Вычисления давлений $\frac{p}{\gamma} = y - \sum \frac{v^2 \Delta y}{Rg}^1$ в сжатом сечении струи

№	$v, \text{м/сек}$	$\frac{v^2}{2g}$	$R, \text{м}$	$\Delta y, \text{м}$	$\frac{2v^2 \Delta y}{2gR}$	$\sum \frac{v^2 \Delta y}{gR}$	$y, \text{м}$	$\frac{P}{\gamma}, \text{м}$
$\alpha = 90^\circ$								
1	0,730	0,0271	0,210	0	0	0	0	0
2	0,820	0,0343	0,185	0,0140	0,00518	0,00518	0,01400	0,00882
3	0,885	0,0398	0,160	0,0100	0,00497	0,01015	0,02400	0,01385
4	0,950	0,0460	0,150	0,0100	0,00613	0,01628	0,03400	0,01772
5	1,020	0,0530	0,140	0,0100	0,00757	0,02385	0,04400	0,02015
6	1,100	0,0616	0,130	0,0100	0,00948	0,03333	0,05400	0,02067
7	1,200	0,0733	0,120	0,0100	0,01222	0,04555	0,06400	0,01845
8	1,300	0,0862	0,110	0,0100	0,01568	0,06123	0,07400	0,01277
9	1,470	0,1100	0,100	0,0100	0,02200	0,08323	0,08400	0,00077
$\alpha = 45^\circ$								
1	0,670	0,0229	0,180	0	0	0	0	0
2	0,708	0,0256	0,150	0,0110	0,00375	0,00375	0,01100	0,00725
3	0,755	0,0292	0,130	0,0100	0,00449	0,00824	0,02100	0,01276
4	0,805	0,0331	0,105	0,0100	0,00631	0,01455	0,03100	0,01645
5	0,880	0,0394	0,090	0,0100	0,00876	0,02331	0,04100	0,01769
6	1,000	0,0510	0,080	0,0100	0,01275	0,03606	0,05100	0,01494
7	1,270	0,0820	0,065	0,0100	0,02525	0,06131	0,06100	0,00031

¹ Вычисления произведены на счетной линейке.

Вычисления давлений $\frac{p}{\gamma} = h_0 - \frac{v^2}{2g} - Z^1$ в сжатом сечении струи

№	h_0	v м/сек	$\frac{v^2}{2g}$	$h_0 + \frac{v^2}{2g}$	Z_m расстояние точки до гребня	$\frac{p}{\gamma}$ м
$\alpha = 90^\circ$						
1	0,1276	1,330	0,0900	0,0376	0,0210	0,0166
2		1,128	0,0647	0,0629	0,0410	0,0219
3		0,908	0,0479	0,0797	0,0615	0,0182
4		0,871	0,0387	0,0889	0,0805	0,0084
$\alpha = 45^\circ$						
1	0,0923	0,670	0,0229	0,0694	0,0710	0,0016
2		0,708	0,0256	0,0667	0,0600	0,0067
3		0,755	0,0292	0,0631	0,0500	0,0131
4		0,805	0,0331	0,0592	0,0400	0,0192
5		0,880	0,0394	0,0529	0,0300	0,0229
6		1,000	0,0510	0,0413	0,0200	0,0213
7		1,270	0,0820	0,0103	0,0100	0,0003

¹ Вычисления произведены на счетной линейке.

Редактор М. И. Ковальский.

Тех. редактор Е. Д. Гракова.

Сдано в набор 17/1 1934 г.

Подписано в печать 4/V 1934 г.

Формат бумаги 62 X 94 $\frac{1}{16}$.

Количество печатных листов 6 $\frac{1}{4}$.

Колич. знаков в 1 бум. л. 98 176.

Индекс С—55-5-4 № 517.

Тираж 2.000.

Бум. листов 3 $\frac{1}{8}$. Авт. листов 7 $\frac{1}{2}$.

Ленгорлит № 9112. Заказ № 2129.

Цена 1 р. 80 к.

У-55-5-4