

В. С. Н. Х.

Промбюро Северо-Западной Области.

Строительство Государственной Волховской  
Гидроэлектрической силовой установки.

---

# Материалы по исследованию реки Волхова и его бассейна.

---

Выпуск II.

---

Профессор

**В. И. Черномский,**

О лотках и каналах прямоугольного сечения усиленной шероховатости в применении к рыбоходам, плотоходам, быстротокам и к взводному судоходству.

---

Издано по соглашению с Российским Гидрологическим  
Институтом.

---

---

---

ЛЕНИНГРАД.

Типография Российского Гидрологического Института, Коломенская, 43.  
1924.

Из книг профессора

**Н. М. ЦАПОВА**

В. С. Н. Х.

Промбюро Северо-Западной Области.

Строительство Государственной Волховской  
Гидроэлектрической силовой установки.

---

# Материалы

## по исследованию реки Волхова и его бассейна.

—  
—  
—  
Выпуск II.

—  
—  
—  
ЛЕНИНГРАД.

Типография Российского Гидрологического Института, Коломенская, 43.  
1924.

ГОС ПУБЛИЧНАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
С. ПЕТЕРБУРГ

5389<sup>14</sup>  
62

Н  
4211  
н 2

Ищайко  
10. I. 1927  
1.50

**Российский Гидрологический Институт.**

**Профессор В. И. ЧЕРНОМСКИЙ.**

**О лотках и каналах прямоугольного сечения усиленной шероховатости в применении к рыбоходам, плотоходам, быстротокам и к взводному судоходству.**



## Оглавление.

---

	СТР.
§ 1. Предварительные сведения . . . . .	9
§ 2. Рыбоходы в Бельгии . . . . .	14
§ 3. Плотходы в Чехии . . . . .	16
§ 4. Меры для защиты от подмыва основания сооружений . . .	18
§ 5. Взмводное судоходство в каналах усиленной шероховатости .	20

---

К статье приложена выписка из письма инженера Дениля от 19 мая 1913 года к В. И. Чарномскому.

---



## Предисловие.

Скончавшийся в 1919 году профессор Института Инженеров Путей Сообщения Вацлав Ипполитович Чарномский последние годы своей научной деятельности посвятил экспериментальному изучению явления „прыжка воды“ и его практическому применению в особых лотках чрезвычайной шероховатости, предложенных, бельгийским инженером Денилем.

Для этой цели в Гидротехнической Лаборатории И. И. П. С. была построена специальная деревянная модель лотка и на ней произведен целый ряд опытов, описание которых и составляет предмет настоящей статьи В. И. Чарномского. Статья эта была передана в Российский Гидрологический Институт, где подверглась рассмотрению в заседаниях Совета Гидравлического Отделения, признавшего за нею большой научный и практический интерес и выразившего пожелание о скорейшем ее опубликовании в изданиях Р. Г. И.

Ограниченность средств Института не позволила, однако, привести в исполнение приведенное пожелание до 1923 г., когда Управлению Строительства Волховской Гидроэлектрической Силовой установки при проектировании устройства для прохода рыбы через плотину понадобилось воспользоваться результатами работ В. И. Чарномского, Российским Гидрологическим Институтом эта статья была представлена Волховстрою для использования с просьбою оказать содействие к скорейшему ее опубликованию.

В настоящее время статья проф. В. И. Чарномского с приложением выписки из письма Дениля, с некоторыми добавлениями в примечаниях, под редакцией инженера Г. К. Лоттер издана по распоряжению Главного инженера Отделом Изысканий Строительства.

---

**Примечание к стр. 10—11:**

В выноске № 1, для п.п. I—III—смотри черт. № 1—№ 3 на листе черт. № 6, после текста.

---

# О лотках и каналах прямоугольного сечения усиленной шероховатости в применении к рыбоходам, плотоходам и к взводному судоходству.

Весною 1914 года я имел возможность ознакомиться:

1) в Бельгии—с устраиваемыми бельгийским инженером Денилем (G. Denil) рыбоходами усиленной шероховатости в д'Англер (d'Angleur) на р. Урте (l'Ourthe) и на Маасе (la Maise);

2) в Чехии—с устраиваемым чешским инженером Базиком плотоходом усиленной шероховатости в Лобозицах (Lobositz) на р. Лабе (Elbe),

3) в Брюсселе—с лабораторными исследованиями на моделях инженера Дениля, производимыми им с целью применения условий усиленной шероховатости в каналах для взводного судоходства через плотины, перепады, шлюзы и проч.

Предметом сей статьи и есть ознакомление с вышеуказанными сооружениями и исследованиями.

§ 1. Предварительно, в целях уяснения дальнейших заключений, полезно напомнить о следующих теоретических зависимостях между различными элементами прямоугольного водяного сечения потока, как-то: расходом  $q$ , шириной  $L$ , уклоном  $\sin \alpha$  и линиями глубин: переменного течения  $h$ , равномерного течения  $H$  и критического течения  $H_1$  <sup>1)</sup>.

1) Под линией глубин критического течения автор понимает критическую глубину потока, при которой функция  $\left(\frac{dh}{ds}\right)$  претерпевает разрыв непрерывности.  
 $h = H_1$

В обычных курсах гидравлики, в частности у Б. А. Вахметьева „Неравномерное движение жидкости в открытом русле“ основное уравнение, принимая обозначение автора, дается в виде:

$$\frac{dh}{ds} = \frac{1 - \frac{bq^2(L+2h)}{L^3 \cdot h^3}}{1 - \alpha \frac{q^2}{h^3 L^2 g}}$$

Автор принимает коэффициент изменения сопротивления  $\alpha$  равным единице; глубины считаются не по вертикали, а в плоскости живого сечения, т. е. пользуется соотношением  $h = h^1 \cdot \cos \alpha$  в результате чего и получает приведенное им уравнение.

*М. С. Захаров*

1) При неравномерном установившемся течении дифференциальное уравнение, выражающее отношение приращения глубины  $dh$  к приращению длины канала  $ds$ , будет:

$$\frac{dh}{ds} = \frac{\sin \alpha - b \frac{q^2 (L+2h)}{L^3 \cdot h^3}}{\cos \alpha - \frac{q^2}{h^3 L^2 g}}$$

линия глубин  $H$  равномерного течения при  $\frac{dh}{ds} = 0$  будет:

$$H = \sqrt[3]{\frac{b q^2}{L^3 \sin \alpha} (L+2H)}$$

линия глубин  $H_1$  критического течения при  $\frac{dh}{ds} = \infty$  будет:

$$H_1 = \sqrt[3]{\frac{q^2}{gL \cos \alpha}}$$

Для всех глубин  $h < H_1$  течение неспокойное происходит по системе гидравлических осей В (см. курс Boudin) и образование прыжка возможно; для всех глубин  $h > H_1$  течение спокойное происходит по системе гидравлических осей А (см. курс Boudin) и образование прыжка невозможно<sup>1)</sup>.

2) Как известно, равномерная скорость  $v$  при постоянном расходе  $q$  выражается формулой Дарси-Базена:

$$v = \sqrt{\frac{\sin \alpha \cdot L}{b \cdot \frac{L}{H} + 2}}$$

де  $b$  — коэффициент сопротивления.

1) Под понятием „системы гидравлических осей А, В и С“ автор подразумевает форму кривой свободной поверхности потока в зависимости от положения горизонта воды по отношению линии глубин  $H$  нормальной (при равномерном течении)

и критической  $H_1$  когда  $\left(\frac{dh}{ds}\right)_{h=H_1} = \infty$

Придерживаясь обозначений автора и введя обозначение рассматриваемой глубины потока через  $h$ , поясним значение каждой гидравлической оси.

1. Система гидравлических осей А —  $h > H_1$ .

1) Ось  $A_1$  при  $h > H_1$  — кривая имеет вид вогнутой кривой подпора. Вверх по течению кривая асимптотически приближается к линии равномерного течения, вниз по течению — к горизонтальной прямой.

2) Ось  $A_2$  —  $H_1 < h < H$  — кривая имеет вид выпуклой кривой спада. Вверх по течению кривая приближается к кривой равномерного движения, вниз, при приближении глубин  $h$  к  $H_1$ , кривая сопрягается с низовой водой прыжком понижения (водопад).

3) Ось  $A_3$  —  $h < H_1$  — кривая имеет вогнутый вид и, при подходе к линии критических глубин, сопрягается с низовой водой прыжком.

Графически скорость  $v$  выражается ординатами параболической кривой с абсциссами  $H$  (см. черт. 4 л. 6). При возрастающей глубине  $H$ , если ширина лотка  $L$  значительно больше  $H$ , т. е. если  $\frac{L}{H} > 1$  (как это имеет место в судоходных каналах и плотоходах), скорость  $v$  быстро возрастает с возрастанием глубины  $H$  (ординаты кривой  $mp$ ); если же ширина лотка равна или меньше глубины  $H$ , т. е. если  $\frac{L}{H} < 1$  (как это имеет место в рыбоходах), то скорость  $v$  возрастает значительно медленнее  $H$  (ордината кривой  $mn$ ) и для глубины  $H = \infty$  скорость приближается к пределу:

$$v = \sqrt{\frac{\sin \alpha \cdot L}{b \cdot 2}}$$

3) Для постоянного расхода  $q$ , при изменении уклона дна  $\alpha$  от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ , линии глубин  $H$  равномерного течения убывают от  $H = \infty$  до

$$H = \sqrt[3]{\frac{bq^2(L + 2H)}{L^3}}$$

и линии  $H_1$  критического течения возрастают от

$$H_1 = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g L^2}} \text{ до } H_1 = \infty.$$

Для промежуточного уклона дна (la pente de passage) при угле  $\alpha_1$ , расходе  $q$ , удовлетворяющем условию:

$$q^2 = g \frac{\cos \alpha}{8} L^5 \left[ \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{g b} - 1 \right]^3$$

## II. Система гидравлических осей $B - H < H_1$ .

1) Ось  $B_1 - h > H_1$  — кривая имеет вид выпуклой кривой подпора. Вниз по течению, с увеличением глубин, кривая асимптотически приближается к горизонтальной прямой, вверх, с приближением  $h$  к  $H_1$ , кривая сопрягается с верховой водой прыжком.

2) Ось  $B_2 - H < h < H_1$  — кривая имеет вид вогнутой кривой спада. Вверх по течению при увеличении глубин кривая сопрягается с линией критической глубины прыжком понижения (водопадом), вниз по течению с приближением  $h$  к  $H$  кривая асимптотически приближается к линии равномерного течения.

3) Ось  $B_3 - h < H$  — кривая выпуклая и с увеличением глубин асимптотически приближается к линии равномерного течения.

## III. Система гидравлических осей $C - H = H_1$ .

1) Ось  $C_1 - h > H$  — кривая почти что горизонтальна (гидравлическая площадка).

2) Ось  $C_2 - h = H$  — кривая совпадает с линией равномерного течения,

3) Ось  $C_3 - h < H$  — кривая почти что горизонтальна.

При переходе глубин от  $h < H$  к  $h > H$  сопряжение кривых возможно прыжком.

линии глубин  $H$  и  $H_1$ , постепенно приближаясь, сходятся в одну линию, параллельную дну, удовлетворяющую условию:

$$H = H_1 = \frac{L}{2} \left[ \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{g b} - 1 \right] \dots \dots \dots (10)$$

Для всех углов  $\alpha < \alpha_1$  линии  $H > H_1$  и течение в канале спокойное по системе гидравлических осей А; для всех углов  $\alpha > \alpha_1$  линии  $H < H_1$  и течение неспокойное по системе гидравлических осей В В виду сего представляется понятным стремление гидротехников образовать в каналах, плотоходах и прочих водотоках течение с равномерной скоростью и избежать возможности образования прыжка; т. е. стремление к тому, чтобы для глубин равномерного течения  $H$ , удовлетворяющих условию:

$$v = \sqrt{\frac{\operatorname{Sin} \alpha}{b}} \cdot \sqrt{\frac{L}{L + 2H}}$$

существовало еще условие  $H > H_1$ , или чтобы отношение

$$\frac{H}{H_1} = \sqrt[3]{\frac{g b (L + 2H)}{L \operatorname{tg} \alpha}} \text{ было } > 1. \dots \dots \dots (1)$$

Эти условия и достигнуты инженером Денилем в лотках прямоугольного сечения усиленной шероховатости<sup>1)</sup>, как это видно из следующих 3-х серий произведенных им с 1909 по 1913 г.г. опытов.

1-я серия опытов была произведена в прямоугольных лотках шириною  $L = 0,60$  м. с выступающими зубьями высоту  $h = 0,20$  м., расположенными по дну и вдоль стенок лотка в расстоянии  $S = 0,60$  м. друг от друга; зубья были направлены под прямым углом к оси лотка загнутыми против течения концами. Уклон дна лотка был постоянный  $i = \operatorname{Sin} \alpha = \operatorname{Sin} 15^\circ = 0,258$ ; при разных высотах воды в лотке от  $H = 0,24$  до  $0,47$  м. определялся коэффициент  $c = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{b}}}$  и коэффициент шероховатости  $\gamma$ .

Результаты были следующие:

Секундный расход.	Сечение лотка.	Высота воды.	Скорость воды.	Коэффиц. $c = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{b}}}$	Коэффиц. шерох. $\gamma$
q	ω	H	v		
2,603	0,1392	0,240	1,87	11,40	2,643
4,408	0,2013	0,347	2,19	11,18	2,692
5,249	0,2787	0,397	2,48	12,30	2,481
6,397	0,2786	0,470	2,98	11,60	2,749

<sup>1)</sup> Рисунок опытного лотка Дениля помещена на 1 листе.

Вставив величины для  $b$ ,  $L$ ,  $H$  и  $\sin \alpha$  из этой таблицы в уравнение (1), получается для отношения  $H/H_1$  величина больше 1, а также как видно из последнего столбца этой таблицы, что коэффициенты  $\gamma$  при постоянном уклоне дна  $\sin \alpha = 0,258$  и переменном расходе  $q$  остается почти постоянными.

2-ая серия опытов была произведена в лотках той же ширины  $L = 0,60$  м. с зубьями, высотой  $h = 0,20$  м. и расположенными вдоль оси канала в расстоянии  $S = 0,60$  м.; но зубья на дне лотка были направлены не под прямым углом к оси лотка, а под углом в  $60^\circ$ . Расход воды был постоянный, но угол наклоения оси лотка к горизонту изменялся от  $\sin \alpha = 0,258$  до  $0,55$ .

Результаты опытов указали, что за введением в уравнение (1) соответствующих значений для  $b_1$ ,  $H_1$ ,  $\sin \alpha$ ,  $L$  отношение линий глубин  $\frac{H}{H_1} > 1$  и коэффициент шероховатости  $\gamma$  определился в пределах:

при  $\alpha = 15^\circ$  или  $\sin \alpha = 0,258$  и  $\operatorname{tg} \alpha = 0,267$  коэфф.  $\gamma = 4,657$

при  $\alpha = 35^\circ$  или  $\sin \alpha = 0,55$  и  $\operatorname{tg} \alpha = 0,666$  коэфф.  $\gamma = 5,035$

т. е. коэффициент шероховатости хотя и возрастает, но незначительно с уклоном дна лотка и линий глубин  $H > H_1$ .

3-я серия опытов была произведена при угле  $\alpha = 35^\circ$  или  $\sin \alpha = 0,55$  при переменных глубинах воды  $H$  в лотках усиленной шероховатости с зубьями вновь принятых инж. Денилем размеров. Согласно этим опытам, инж. Денилем установлена следующая эмпирическая формула для коэффициента сопротивления  $b$  и коэффициента шероховатости  $\gamma$ :

$$b = 0,0214 + \frac{0,00084}{R} \dots \dots \dots (2)$$

$$\gamma = 87 \left[ \sqrt{b} - \frac{1}{87} \right] \sqrt{R} \dots \dots \dots (3)$$

где подводный радиус

$$R = \frac{LH}{L+2H}$$

Относительные размеры этих лотков были следующие: при высоте воды в лотке (считая от верха зубьев до поверхности воды в лотке)  $H$ , высота зубьев  $h$  принята от  $1/4 H$  до  $1/3 H$ ; ширина лотка  $L$  — от  $H$  до  $6/5 H$  и расстояние между зубьями по оси лотка от  $1,5 H$  до  $2 H$ .

Пользуясь выведенным Ньютоном свойством подобия, известно, что два установившиеся течения, связанные коэффициентом подобия  $\lambda$ , (т. е. когда  $\omega' = \lambda \omega$ ,  $L' = \lambda L$ ,  $H' = \lambda H$ ,  $R' = \lambda R$ ), получают для новой скорости  $v'$  в функции старой скорости выражения  $v' = v \sqrt{\lambda}$  (если

уклон дна  $i$  остается постоянным); а если желательно, чтобы скорости остались постоянными, т. е. чтобы  $v' = v$ , необходимо, чтобы уклон  $i' = \frac{i}{\lambda}$ . Соблюдая эти требования, можно по формулам (2) и (3) получить коэффициенты  $b$  и  $\gamma$  для целой серии подобных лотков.

§ 2. Рыбоходы. Устраиваемые на реках и каналах искусственные сооружения (как-то, плотины, дамбы и проч.) задерживают естественное стремление рыб, в период метания икры, направляться в спокойные места вверх против течения каналов и рек. Устранение этих препятствий для движения рыбы достигается устройством рыбоходов в виде наклонных к горизонту прямоугольного сечения лотков, по которым вода течет сверху вниз, а рыба может двигаться снизу вверх. Размеры лотков обыкновенно принятые: ширина от 0,50 до 0,60 м, с такую же глубиною, а потому, придавая усиленную шероховатость и большой уклон лотку можно согласно уравнению (1) получать в рыбоходах отношения глубин  $H/H_1$  всегда  $> 1$ . Для удобства прохода рыбы лотки должны удовлетворять следующим условиям: прямолинейное направление рыбохода; постоянная по всей его длине скорость течения и постоянная глубина воды без прыжков и перепадов; через каждые 14—15 метров, по длине лотка устройство горизонтальных площадок для отдыха рыб; предельная самая удобная скорость течения воды 3,5 метра в секунду; вода должна быть мутная, но хорошо освещена дневным светом и движение ее в лотке должно быть звучное.

Секундная работа  $Q$  в килограмметрах для под'ема рыбы (напр., лососины средних размеров) вверх, против течения, определяется по формуле:

$$Q = \frac{kP(v+w)^2}{2g}$$

где  $P$ —вес рыбы в килограммах (в среднем для лососины 3 килогр).

$v$ —наибольшая скорость передвижения рыбы в тихой воде (5 метров для лососины и 3 метра для белой рыбы) в секунду:

$w$ —скорость течения воды в рыбоходе, принятая от 3,5 до 5 метров в секунду.

$k$ —практический коэффициент от 2 до 2,5.

Вставляя эти величины получим:

$$\frac{2,5 \times 3(5+5)^2}{19,6} = 38,3 \text{ килограмметров. } / \text{сек}$$

В действительности, по наблюдениям, работа рыбы доходит до 60 килограмметров в секунду.

Согласно вышеизложенным требованиям устроен в Бельгии рыбоход по системе инженера Дениля в плотине д'Англера (d'Angleur) на

р. Урте (l'Ourthe), притоке Мааса (la Maise), выше г. Льежа<sup>1)</sup> (см. лист 1, черт. 1, 2, 3 и 4). На общем плане спрямления р. Урты (по ab) указана плотина д'Англер и стрелками обозначено направление передвижения рыбы (против течения) от р. Мааса через плотину д'Англер, в р. Урте, а также указано место устраиваемого рыбохода. Форма втопленных в бетон плотины чугунных зубьев указана на чертежах 2, 3 и 4. Инженер Дениль придает большое значение форме и очертанию этих зубьев и этим объясняет увеличение коэффициента  $\gamma$ . Из чертежа видно, что разность горизонтов верхнего и нижнего бьефа 3,50 метра, свободная глубина в рыбоходе  $H = 0,50$  метра, ширина лотка  $L = 0,60$  метра, высота зубьев  $h = 0,20$  метра, расстояние между зубьями по оси лотка  $S = 0,50$  метра. Длина рыбохода 6,08 метра, уклон дна при угле  $\alpha = 35^\circ$  дает  $\sin \alpha = 0,55$ ,  $\text{tg } \alpha = 0,66$ .

Подводный радиус

$$R = \frac{0,50 \times 0,60}{0,60 + 2 \times 0,50} = 0,187$$

Коэффициент сопротивления

$$b = 0,0214 + \frac{0,00084}{0,187} = 0,0259$$

Коэффициент шероховатости

$$\gamma = 87 \left( \sqrt{0,0259 - \frac{1}{87}} \right) \sqrt{0,187} = 5,8$$

Коэффициент скорости

$$c = \sqrt{\frac{1}{b}} = 6,21$$

Равномерная скорость течения

$$v = \sqrt{\frac{Ri}{b}} = \sqrt{\frac{0,187 \times 0,55}{0,0259}} = \sqrt{3,97} = 1,99 \text{ или около } 2,00 \text{ метров.}$$

Если сравнить эти величины с величинами, получаемыми по обыкновенным формулам в лотках с естественным очень шероховатым дном, но без зубьев, то получим:

$$b = 0,0004 + \frac{0,0007}{0,187} = 0,0040$$

1) G. Denil. Ing. „Les échelles à poisson et leur application aux barrages de la Maise de l'Ourthe“ (Annales des travaux publics de Belgique 1909).

G. Denil. „Les échelles hydrauliques appliquées à la construction de la régulation des rivières“ (Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des Ecoles de Gand 1909).

$$c = \sqrt{\frac{1}{b}} = 15,81$$

$$\gamma = 87 \left( \sqrt{0,0040 - \frac{1}{87}} \right) \sqrt{0,187} = 1,94$$

$$v = \sqrt{\frac{0,187 \times 0,55}{0,0040}} = 5,07$$

т. е. устройством зубьев Дениля коэффициент шероховатости увеличился в 3,3 раза, а скорость уменьшилась в  $2^{1/2}$  раза.

§ 3. Плотходы. Для спуска плотов вниз по течению реки или канала устраивают в плотинах и перепадах наклонные к горизонту прямоугольного сечения лотки. В плотходах стараются также получить равномерную скорость течения; но так как глубина воды в плотходах от 0,70 до 0,80 м. и ширина лотка 12,0 метров (т. е. отношение  $\frac{L}{H}$  значительно больше 1), то в обыкновенных плотходах с гладким и ступенчатым дном отношение глубин  $H/H_1$  обыкновенно меньше 1 и скорость течения неравномерная, возрастающая. Возрастание глубины в рыбоходах не вызывает быстрого и опасного для рыбы возрастания скорости течения, но в плотходах возрастание глубины вызывает возрастание течения, а потому в обыкновенно устраиваемых плотходах пропускаются плоты безопасно только при определенной глубине.

В Чехии на реках Молдаве и Лабее (на протяжении 121 километра от Праги до Саксонской границы) устроено (для образования судоходной глубины в 2,01 метра) 12 водоудержательных плотин и на них 12 плотходов для спуска в море плотов, с общим падением 48,50 м.

Сначала плотходы строились большой длины с малым продольным уклоном и ступенчатым дном, как напр., в Трое и Либшицах, но в последнее время (1913 г.), по проекту инженера Базики, длина плотхода значительно уменьшена, уклон увеличен и дно плотхода снабжено вертикальными выступами (как в Лобозицах). Составные элементы этих трех плотходов следующие: <sup>1)</sup>

Плотход в Трое — (в 5 километрах ниже Праги на р. Молдаве) имеет длину в 409 метров с общим падением в 3,6 метра, ширина плотхода 12 метров, глубина 1,2 метра и в самом плотходе от 0,70 до 0,80 (черт. 1, лист № 2).

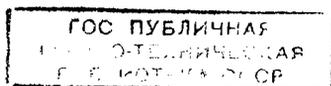
Плотход состоит из трех частей. Первая ступенчатая часть длиной 225 метров с переменным уклоном дна от 0,005 до 0,01, затем 0,02 и снова 0,01, снабжена горизонтальными площадками длиной от 24 до 12 метров и вертикальными уступами в 0,15 метров, в конце на

<sup>1)</sup> Bericht der Kommission für die Kanalisierung der Moldau-und Elbeflusses in Böhmen (Prag. 1902—1911).

225 метре дно лотка почти совпадает с горизонтом воды нижнего бьефа. Вторая часть — длиной 25 метров углублена; в этой части расположены 4 горизонтальные металлические или деревянные решетчатые рамы (лист 4 черт. 1), прикрепленные у верхнего конца рамы и свободные в нижнем их конце, вследствие чего рама способна всплыть в нижнем конце, поглощать часть живой силы течения, и препятствовать образованию прыжков воды. Третья часть плотохода, длиной 160 метров, с уклоном в 0,001 и глубиной в 1,32 м. сопряжена с руслом реки в нижнем бьефе. Произведенные Строительной Комиссией по канализации рек Молдавы и Лабы промеры и измерение скоростей в этом плотоходе дали следующие результаты: в 1-й и 2-й части плотохода на протяжении 250 метров средняя скорость воды, измеренная поплавками, оказалась 3,36 метр. в секунду, а наибольшая (в конце 250 м.) — 4,50 метров, а средняя скорость плотов на этом протяжении 2,075 м. т. е. на 38% меньше средней скорости воды; вероятно, вследствие того, что плотам по энергии затруднительно сразу приобрести скорость течения воды. В 3-ей части плотохода на протяжении 160 м. средняя скорость воды, измеренная поплавками, оказалось 2,03 метра, а плотов — 2,91 м., т. е. скорость плотов на 40% больше средней скорости воды. В общем средняя скорость воды на всем протяжении плотохода (409) определилась в 2,67 метра, а плотов в 2,54 метра, т. е. около 5% меньше средней скорости воды.

Плотоход в Либшицах — (в 14 километрах ниже Праги на р. Молдаве) имеет длину в 100 метров, с общим падением дна 3,68 (уклон 0,0368), ширина плотохода 12 метров, глубина у входа 1,32 м., а в плотоходе от 0,70 до 0,80 м., скорость воды в плотоходе переменная от 2 до 3 метров (см. лист 2, черт. 2) Плотоход состоит из 3 частей. Первая часть каменная, длиной 30 метров, с уклоном в 1/80; часть вторая — деревянная ступенчатая, длиной 65,30 метров, на сваях с площадками различных длины и уклонов: 4 площадки с уклоном в 1/100, 3 площадки с уклоном 1/150 и 2 площадки без уклона; между площадками вертикальные уступы в 0,10 метра высоты; 3-я часть длиной 4,50 м., углубленная с уложенными в ней деревянными речетчатыми плавающими рамами, для уничтожения инерции воды и прыжка; рама устроена также, как в плотоходе Трои. Плотоход снабжен пешеходным мостиком (см. черт. 3, лист 5) с цилиндрическим затвором (см. черт. лист 5) для впуска и задержки воды в плотоходе.

Для получения равномерной скорости течения воды в плотоходе чешские инженеры решили, пользуясь опытами инженера Дениля, во вновь устраиваемых плотоходах применить идею усиленной шероховатости дна плотохода. В этом направлении в 1913 г. строился в Лобозицах плотоход с выступами по проекту инженера Базика. Плотоход



5389 14  
62

в Лобовицах расположен на р. Лабе в  $97\frac{1}{2}$  километрах ниже Праги, имеет длину 105 метров с уклоном 0,027 и общим падением 2,70 метра. состоит из наклонного к горизонту дна, снабженного зигзагообразно уложенными выступами (см. черт. 3 и рисунки 4 и 5, лист 3), высотой  $h = 0,30$  м., скошенными с боку и по сторонам; выступы расположены в расстоянии  $L = 1,50$  метра друг от друга, считая по оси плотохода. Глубина воды на площадке у входа 1,05 м., а в плотоходе постоянная  $H = 0,80$  метров и скорость течения также постоянная  $v = 2,10$  метров. Зубья Дениля и Базики (черт. 4, 5, 6 и 7, лист 2)

Для определения коэффициентов сопротивляемости и шероховатости по формулам

$$b = \frac{Ri}{v^2} \text{ и } \gamma = 87 \left( \sqrt{b} - \frac{1}{87} \right) \sqrt{R}$$

можно в данном случае (в виду незначительной шероховатости гладких стенок плотохода по сравнению с дном) признать подводный радиус  $R = H$  (т. е. равным глубине воды в плотоходе = 0,80 метра) и тогда коэффициент

$$b = \frac{Ri}{v^2} = \frac{0,00 \times 0,027}{4,4} = 0,005$$

и коэффициент шероховатости

$$\gamma = 87 \left( \sqrt{b} - \frac{1}{87} \right) \sqrt{H} = 87 \left( \sqrt{0,005} - \frac{1}{87} \right) \sqrt{0,8} = 4,67$$

Если бы к плотоходу в Лобовицах применить зубцы Дениля, при высоте воды  $H = 0,8$  метра, высоте зубца  $h = \frac{1}{3} H = 0,27$  метра, и при расстоянии между зубьями по оси  $L = H = 0,80$  метра и затем, в виду незначительной шероховатости гладких стенок плотохода по сравнению с шероховатостью дна, принять также  $R = H$ , то получим для коэффициента сопротивляемости  $b = 0,0214 + \frac{0,00084}{H} = 0,0225$  коэффициента шероховатости

$$\gamma = 87 \left( \sqrt{b} - \frac{1}{87} \right) \sqrt{H} = 87 \left( \sqrt{0,0225} - \frac{1}{87} \right) \sqrt{0,8} = 9,27$$

и среднюю скорость течения

$$v = \sqrt{\frac{Ri}{b}} = \sqrt{\frac{0,8 \times 0,027}{0,0225}} = \text{около } 1,00 \text{ метра.}$$

§ 4. Меры для защиты основания сооружений (в плотоходах, плотинах, быстротоках и проч.), принимаемые в низовой

их части от размыва ниспадающей воды и от образования прыжка. Выше было изложено (§ 3), что в плотоходах на р.р. Молдаве и Лабее в Чехии, устроены в низовой части плотоходов углубления дна и подвижные рамы для поглощения инерции ниспадающей воды и для устранения прыжка. Принцип углубления дна у подошвы плотины и поглощение линии прыжка основан на следующем:

Пусть (черт. 1, лист 3) имеется канал прямоугольного сечения с равным дном МО шириною  $L$ ; в канале, с уклоном  $i$ , пусть устроена плотина или выступ высотой  $MN = h_0$  с ниспадающей водой слоем  $H_0$ . Пренебрегая скоростью подхода воды к плотине, получим расход воды через плотину по формуле:

$$q = m L H_0 \sqrt{2g H_0} = v_1 h_1 L,$$

где  $v_1$  скорость и  $h_1$  глубина у подошвы плотины (водослива); из теоремы Бернулли

$$H_0 + h_0 = \frac{v_1^2}{2g} + h_1$$

и из уравнения

$$\frac{v_1^2}{2g} = \frac{m^2 H_0^3}{h_1^2}$$

получим

$$(H_0 + h_0) h_1^2 = m^2 (H_0^3 + h_1^3),$$

и затем высота воды в канале  $h_1$  ниже плотины определяется непосредственно (ниже плотины) соответственно с ее скоростью  $v_1$ , а из уравнения

$$H_1 = \sqrt[3]{\frac{q^2}{gL^2}}$$

определим линию  $H$ , критической глубины<sup>1)</sup>.

Затем из уравнения

$$S_n S_{n-1} = \frac{\frac{1}{2g} (v_n^2 - v_{n-1}^2) + (h_n - h_{n-1})}{i - \frac{b}{2} \left( \frac{v_n^2}{R_n} - \frac{v_{n-1}^2}{R_{n-1}} \right)}$$

<sup>1)</sup> Из равенства критической глубины

$$H_1 = \sqrt[3]{\frac{q^2}{gL^2 \cos \alpha}},$$

полагая, вследствие малости угла  $\alpha$ ,  $\cos \alpha = 1$ .

определим расстояние  $S_n$  для всех глубин  $h_n$  кривой  $ab$  (по гидравлической оси  $A_3$ ), а из уравнения

$$h''_n = \frac{h_n}{2} \left[ \sqrt{1 + \frac{16v_n^2}{2gh_n} - 1} \right] = \frac{h_n}{2} \left[ \sqrt{1 + \frac{8H_1^3}{h_n^3} - 1} \right]$$

определим ординаты  $h''_n$  кривой прыжка  $cb$ .

Из чертежа видно, что линия глубин  $H$  нижнего бьефа пересекает кривую прыжка  $bc$  в точке  $d$ , причем образуется прыжок высотой  $de$ . Если углубить дно плотины по линии  $tt$  на величину, немного большую  $cf$ , то критическая ось  $H_1$  и кривые  $ab$  и  $cd$  понизятся до  $a'b'$  а  $c'd'$  а дно канала представит углубление с очертанием МНО. С этим углублением прыжка за плотиной не будет.

Другой принцип, применяемый также для уничтожения прыжка, основан на устройстве целого ряда выступов, которые не допускают образования ниже плотины прыжков. Этот принцип применяется при устройстве ступенчатых плотин в судоходах, оврагах, быстротоках, а также на этом принципе основана система усиленно-шероховатых каналов и лотков по системе инженеров Дениля и Базика. Например, пусть (черт. 2, лист 3) имеется канал (как в предыдущем примере) прямоугольного сечения, шириною  $L$  с равномерным дном  $MO$  и уклоном  $i$ ; в канаве устроена плотина (или выступ)  $MN$ , высотой  $h_0$ , с ниспадающей водой слоем  $H_0$ . На основании тех же рассуждений определим линию критической глубины  $H_1$ , ординаты кривых  $ab$  и  $cd$  и высоту прыжка  $ed$ . Но если на расстоянии  $M'$  от первого выступа построить второй выступ  $M'N'$ , то вследствие образовавшегося подпора поверхность воды между выступами подыметься, закроет кривую прыжка  $cb$  и уничтожит прыжок.

При укреплении, напр., подошвы оврагов, такие заграждения (перепасы) уже устраиваются, в зависимости от прочности и от конструкции из дерева, бетона, плетней и проч., высотой от 0,50 до 1,00 метра (см. черт. 3, лист 3) и располагаются на расстояниях более  $\frac{h}{i}$ , где  $h$  — высота заграждения,  $i$  — уклон дна оврага. На очень крутых уклонах дна оврага более сильные заграждения (1-го порядка) располагаются на расстояниях больших  $\frac{h}{i}$ , а в промежутках между ними, по мере образования наносных отложений, устраиваются на расстояниях меньших заграждения второго порядка более слабого типа <sup>1)</sup>.

§ 5. Переходя к вопросу о применении каналов усиленной шероховатости (с зубьями) для взводного судоходства через плотины, перепасы и проч., рассмотрим предвари-

<sup>1)</sup> Проф. О. Г. Зброжек и инж. А. А. Гельфер „Овраги и борьба с ними“.

тельно результаты испытаний о сопротивлении движению судов при взводном судоходстве (против течения), произведенных капитаном Зуппаном (Suppan) и инженером Господским (Hospodzky) на Дунае.

Исследования капитана Зуппана (см. доклад в Трудах VII Международного Судоходного Конгресса в Брюсселе в 1898 году, под заглавием: „Résistance au mouvement des bateaux“) были произведены в 1897 г. на Дунае, в 5 километрах выше Будапешта с баржей (la peniche) длиной 50 метров, шириною 8 метров, с осадкою в 2,10 м. при полном грузе в 650 тонн и общею вместимостью в 710 куб метров.

Ширина реки в месте производства опытов была 200 метров, а средняя глубина 3 метра. Сопротивление взводному судоходству измерялось при осадке баржи от 1,50 м. до 2,10 метра. Скорость движения воды в реке была  $V = 1,06$  метра в секунду, а скорость тяги при буксировке в тихой воде изменялась от  $v = 0,84$  до 3,94 метра в секунду. Сопротивление тяги взводному судоходству в килограммах определилось для относительной скорости в следующей таблице:

Скорость течения в метрах:	Скорость тяги в тихой воде в метрах:	Относительная скорость в метрах:	Сопротивление живой силы течения $P_1$ в килограммах при осадке баржи в:			З а м е ч а н и я.
$V$	$v$	$u = V + v$	1,50 м.	2,10 м.	2,00 м.	Цифры сопротивления последнего столбца (для осадки в 2,00 м.) определены (для сравнения с опытами инж. Господского) по интерполяции.
1,06	0,84	1,90	290	380	365	
1,06	1,48	2,54	515	650	628	
1,06	2,55	3,61	1150	1500	1442	
1,06	3,94	5,00	2430	3120	3005	

Эти результаты сопротивления  $P_1$  в функции относительных скоростей  $u$  графически изображены на кривой  $ab$  (см. черт. 8, лист 2) и, согласно с определениями профессора de Mas'a<sup>1)</sup>, выражаются аналитически формулой  $P_1 = \alpha u^{2,5}$ , где коэффициент  $\alpha$  есть постоянная, зависящая от длины, осадки, ширины и конструкции баржи.

Исследования инженера Господского (см. доклад VII Международному Судоходному Конгрессу в Париже в 1900 г., под заглавием „Expériences de remorquages faites sur le canale de Fer“) производились на Дунае в канале Железных Ворот с незатопляемыми дамбами при длине канала в два километра, ширине в 73 метра, с общим падением 5 метров (уклон  $i = 0,0025$ ) с баржами пяти различных типов, с осадкой в 2,00 метра. Для баржи (la peniche) одинаковых размеров с баржей

1) B. De Mas, professeur. Cours de navigation intérieure á rivières au courant libre. Paris. 1906.

испытанной Зуппаном в 1898 г. (длиною 58 метров, шириною 8 метров и при полном грузе в 650 тонн, с осадкой в 2,00 метра и водоизмещением 710 куб. метров) получены были для взводного судоходства следующие результаты сопротивления  $P$  в килограммах при скорости течения  $V = 4,97$  метров в секунду, скорости тяги на буксире в тихой воде  $v =$  от 0,28 до 0,84 метра в секунду и относительной скорости  $u = V + v$ :

Скорость течения в метрах:	Скорость тяги в тихой воде в метрах:	Относительная скорость в метрах:	Сопротивление живой силы течения в килограммах	Сопротивление в лошадиных силах
$V$	$v$	$u = V + v$	$P$	$N$
4,97	0,28	5,25	6120	37
4,97	0,55	5,52	7540	91
4,97	0,84	5,81	9180	166

Эти результаты сопротивления  $P$  в функции относительной скорости  $u$  графически изображены на кривой  $cd$  (см. черт. 8, лист 2) и, согласно с определениями инженера Господского, выразятся аналитически:

$$P = \beta u^4$$

где, по исчислениям инженера Господского,  $\beta = 0,60 \frac{D}{L}$ ,  $D$  есть водоизмещение баржи в куб. метрах и  $L$  длина баржи в метрах, т. е.

$$P = 0,60 \frac{D}{L} u^4.$$

Сопоставляя кривые  $ab$  и  $cd$ , оказывается:

1) что обе кривые пересекаются в точке  $m$  при абсциссе относительной скорости  $u = V + v = 3,5$  мтр. и ординате (сопротивлении)  $P = P_1 = 1500$  кгр., а потому легко определить зависимость между  $\alpha$  и  $\beta$ .

$$\alpha = \beta(3,5)^{1,5} = 0,60 \frac{D}{L} (3,5)^{1,5} = 0,60 \frac{D}{L} 4,79 = 2,874 \frac{D}{L};$$

вставляя это в выражение для  $P_1$ , имеем

$$P_1 = 2,874 \frac{D}{L} u^{2,5}.$$

2) что для скоростей течения  $V$ , не превышающих 3,5 метра, сопротивление взводному судоходству определяется по формуле:

$$P_1 = 2,874 \frac{D}{L} u^{2,5}$$

а для скоростей течения превышающих 3,5 метра по формуле <sup>1)</sup>

$$P = 0,60 \frac{D}{L} u^4.$$

В виду сего, принимая во внимание, что в каналах с усиленно-шероховатым дном, даже при значительных уклонах дна (придав соответственные размеры зубьям), можно всегда получить скорость течения  $V$  меньше чем 3,5 метра, оказывается, что сопротивление данной баржи, подчиняется выражению:

$$P = 2,874 \frac{D}{L} u^{2,5}$$

где относительная скорость  $u = V + v$  будет зависеть главным образом от  $v$  (т. е. от мощности двигателя); а потому оказывается, что вопрос о применении каналов усиленной шероховатости практически вполне применим даже при очень значительных уклонах канала.

Например, предположим (черт. 2, лист 4), что в канале с уклоном дна  $i = 0,025$  м., шириною 15 м., глубиною 2,10 метра, с общим падением в 3 метра, движется вверх против течения баржа (la peniche) размерами: длина  $L = 30$  метров, ширина 3,50 метров, осадка 1,50 метра и водоизмещение  $D = 120,5$  куб. метров. Канал длиною  $\frac{5}{0,025} = 200$  метров, снабжен на дне рядом зубьев Дениля высотой  $h = \frac{1}{3} \times 2,10 = 0,70$  м., расположенных в расстоянии по оси канала через 2 метра.

Скорость течения в канале равномерная  $V = \sqrt{\frac{Ri}{b}}$ ,

где

$$R = \frac{15 \times 2,10}{2 \times 2,1 + 15} = 1,6; \text{ уклон } i = 0,025, \text{ (по Денилю) коэффициент}$$

$$b = 0,0214 + \frac{0,00084}{1,6} = 0,0219$$

скорость течения  $V = \frac{1,6 \times 0,025}{0,0219} = 1,82$  метра, т. е. меньше 3,5 м.

Полагая скорость движения двигателя в тихой воде  $v = 2,00$  м., получим для относительной скорости против течения в канале

$$u = V + v = 1,82 + 2 = 3,82 \text{ метра,}$$

а потому сопротивление живой силы течения

$$P = 2,874 \times \frac{D}{L} u^{2,5} = 2,874 \frac{120,5}{30} (3,82)^{2,5} = 2,874 \times 4,02 \times 28,52 = 329 \text{ кгр.}$$

1) Замечательно, что, по наблюдениям в рыбоходах системы Cameré в Бельгии, когда с возрастающей глубиной скорость течения в рыбоходе превосходит 3,5 м., лососи затрудняются передвигаться плавно против течения, а при скорости в 5—6 метров рыба положительно выбрасывается течением из воды.

Время для под'ема баржи вверх по каналу определяется в  $\frac{200}{2 - 1,82} = 1111$  секунд или около 18,5 минут.

Сопротивление от мертвого груза баржи будет:

$$Q = 120,5 \times \sin \alpha = 120,5 \times 0,025 = 3,01 \text{ тонн или } 3010 \text{ кгр.}$$

$$R = P + Q = 329 + 3010 = 3339 \text{ кгр.,}$$

т. е. потребуется двигатель в лошадиных сил

$$\frac{3339 - 2}{75} = 89 \text{ сил.}$$

Если бы не было зубьев Дениля, то по Базену для очень шероховатых каналов

$$b = 0,0004 + \frac{0,0007}{R} = 0,00084$$

и скорость течения была бы

$$V = \sqrt{\frac{Ri}{b}} = \sqrt{\frac{1,6 \times 0,025}{0,00084}} = 6,9 \text{ метров,}$$

т. е. в 3,8 раза больше.

Но кроме теоретической стороны этого вопроса существует еще целый ряд вопросов практического характера, решение которых тесно связано с осуществлением этих каналов, как, например: 1) для определенной длины и осадки судна, при данном уклоне дна шероховатого канала, какую следует принять кривую сопряжения дна для горизонтальной части канала с его наклонною частью для безопасного прохода судна в месте этого сопряжения; 2) какие надлежит принять меры (и надлежит ли) для предохранения зубьев Дениля от заносов и засорения и пр. Все это может пояснить только ряд соответственных опытов.

Из изложенного видно, что рыбоходы и плотходы с усиленно шероховатостью дна и стенок канала уже применяются с успехом в Бельгии и Чехии. Что же касается усиленно шероховатых каналов с большим уклоном дна в применении к взводному судоходству (через пороги, плотины, водосливы и прочие преграды), то такое применение по сие время (насколько мне известно) находится пока в стадии предположения и в этом направлении имеются только небольшие опыты инженера Дениля в Брюсселе.

Но из всего вышеизложенного явствует, что эта идея вполне осуществима; вопрос должен быть возбужден и требует реального изучения и подтверждения в ряде широко поставленных в избранном месте опытов.

Цель этой статьи—вызвать сочувствие и интерес к этому вопросу гидротехников, лиц и учреждений, имеющих возможность предоставить потребные средства для осуществления этих исследований.

Август, 1919 г.,  
Петроград.



Ponts et Chaussees.

Bruxelles, le 19 mai 1913.

Service Special.  
des  
Canaux Houillers.

3-me Arrondissement.

G. Denil, Ingénieur principal.

Bureaux: 10, Rue Emm. Van Driessche.

N<sup>o</sup>.....

Monsieur et Cher Camarade.

J'ai bien reçu votre honoreé lettre au sujet des échelles hydrauliques.

Il est évident que les résultats précédemment publiés et concernant les couloirs étroits possédant des moulures de rugosité tant sur le fond que sur les parois ne peuvent aucunement permettre de se rendre compte de la possibilité d'appliquer à la navigation le système des échelles pour remplacer les écluses à sas.

Les couloirs étroits doivent être réservés pour les pentes extrêmes et servir par exemple pour échelles à poissons. Je les applique actuellement sur 0,60 m. de largeur avec pente de 0,35 m. par m.

Le type actuel tel qu'il a reçu quelques applications, possède en modèle  $\frac{1}{5}$  un coefficient de rugosité de 3,5, c'est-à-dire de  $3,5 \sqrt{5}$  ou de 7,8 pour l'échelle de 0,60 m. de largeur.

En ce qui regarde l'application beaucoup plus importante, il est évident qu'il me fallait arriver à réaliser des couloirs de largeur indéfinie de manière à se prêter à toutes les circonstances pratiques et comme vous l'avez remarqué comportant des lames d'eau relativement minces comparative-ment à leur largeur. La solution du problème est évidemment de ralentir uniquement par le fond et de constituer des couloirs à parois lisses dont le fond serait composé de bandes longitudinales amortisseuses, lesquelles pourraient se juxtaposer en nombre suffisant pour réaliser la largeur exigée—laquelle pourrait être ainsi prolongée indéfiniment.—Il fal-

A Monsieur

W. C. Zarnomski,

Ingénieur,

à Saint-Petersbourg.

fait donc étudier l'amortissement d'une veine liquide uniquement par le fond et il suffisait d'étudier une seule veine dans un couloir à parois lisses. C'est ce que je fais, depuis une année, expérimentalement. J'ai réalisé cinq couloirs expérimentalement en faisant varier les éléments divers des amortisseurs lesquels sont étudiés pour pouvoir être réalisés soit en métal, soit en béton armé.

Le résultat de mes expériences répond parfaitement à ce que j'en attendais. J'ai actuellement déjà la preuve que les couloirs à fond ultra rugueux sont susceptibles de fournir des courants très lents malgré la valeur élevée de la pente.

Le meilleur de mes modèles actuels (au vingtième) me donne comme valeur de  $b$  coefficient de frottement de la formule classique  $b = \frac{RI}{U^2}$

$$b = 0,0214 + \frac{0,00084}{R}$$

alors que pour les canaux présentant une résistance extraordinaire les données de Darcy et Basin complétées par Ganguillet et Kutter, donnent

$$b = 0,0004 + \frac{0,0007}{R}$$

L'effet obtenu se traduit donc par une augmentation énorme de la constante  $\alpha$  de la formule

$$b = \alpha + \frac{\beta}{R}$$

52 fois plus grand que dans les expériences de Bazin. Cette variation revient à diviser la valeur de  $C$  ( $C = \frac{1}{\sqrt{b}}$ ) par le facteur 7 environ c'est à constituer des courants qui, à pente et à épaisseur égale, auront des vitesses 7 fois plus faibles que les courants découverts les plus ralentis connus.

J'oubliais de vous dire que ces résultats expérimentaux ont été réalisés sur un modèle au  $\frac{1}{20}$  avec des moulures de 4 cm. de saillie, c'est à dire qu'il correspondrait à grande échelle à des moulures de 0,80 m. de saillie.

En encastrant ces moulures dans le fond du canal des Portes de Fer, les vitesses actuelles qui vont de 3,60 m. en basses eaux à 5,00 m. en hautes eaux varieraient approximativement entre les deux limites 0,51 et 0,71. Le résultat acquis est donc considérable.

Je dois ajouter ceci. Il faut remarquer que quelle que soit la pente pratique adoptée, mes nouveaux modèles donnent naissances à des axes hydrauliques  $A_1$  caractérisant les faibles pentes de fond grâce à la haute valeur de  $b$ . La pente de passage pour laquelle  $H = H_1$  dépasse toujours en effet 0,21 m par mètre. Il faut donc bien s'imprégner de l'idée que nous avons à considérer dans les cas pratiques uniquement les axes  $A_1$  (relèvement) ou  $A_2$  (abaissement) et que ces axes sont uniquement engendrés par les circonstances d'aval. La génération de l'axe  $A_2$  engendré par l'amont ne serait possible que par un vannage fortement abaissé.

Cette considération très simple vous démontre déjà que tout ressau d'exhaussement est impossible à l'aval des couloirs. Un relèvement quelconque du niveau d'aval se propage simplement vers l'amont en engendrant un axe  $A_1$  qui se raccorde asymptotiquement au niveau du mouvement uniforme.

Quant au ressaut d'abaissement à l'entrée, je ne sais pas qu'on puisse l'évaluer en fraction constante de la hauteur d'eau. Il se produit simplement la chute voulue à l'entrée du couloir pour engendrer la vitesse d'entrée du couloir. Par exemple dans le cas d'un couloir incliné à 5% et avec 3,00 m. de hauteur d'eau, la vitesse de régime serait de 2,20 m. et l'abaissement serait de 0,25 m., c'est à dire qu'il se produirait dans la surface liquide à l'entrée du couloir un pli de 0,25 de hauteur totale, qui ne peut offrir aucune espèce d'obstacle au bateau.

Ces résultats se marquent d'ailleurs parfaitement bien sur modèle

La valeur de  $b$  donnée précédemment soit  $b = 0,0214 + \frac{0,00084}{R}$

résultent d'expériences ou la hauteur d'eau sur modèle a varié progressivement 0,02 à 0,145 le débit variant de 0 à 13 litres par seconde (modèle de 0,172 de largeur à parois lisses, amortissement par le fond, pente 5%). J'ai pu effectuer ces expériences avec une grande exactitude, mais mes modèles étaient très courts (1,00 m.) et ils déversaient librement à l'aval c'est à dire que j'ai systématiquement réalisé des axes d'abaissements  $A_2$  et que les hauteurs mesurées, toujours et systématiquement, ont été inférieures aux hauteurs du mouvement uniforme. L'expression de  $b$  tirée de ces chiffres donne donc des valeurs notablement trop basses. Il faut remarquer que le but de mon expérimentation était d'avoir une idée de la grandeur de  $b$  et surtout de comparer différents dispositifs pour entreprendre ensuite des expériences plus développées. Il faut noter cependant que pour la pente employée, les axes

hydrauliques sont très courts et que pour la hauteur d'eau de 0,146 la hauteur du mouvement uniforme serait atteinte à 0,002 près, c'est-à-dire à  $\frac{1}{53}$  près à 1,37 m. de l'extrémité du couloir.

J'ai calculé les corrections à faire aux hauteurs d'eau pour tenir compte de la position du point où les mesurages des hauteurs ont été effectués en me basant sur la théorie des axes hydrauliques. Ces corrections auraient pour effet de porter la valeur de la constante L de la valeur 0,0214 à la valeur approximative 0,04. Mais je ne veux point faire état de ces calculs correctifs. Ce qu'il faut retenir, c'est que la valeur 0,0214 est un minimum absolu et que la valeur réelle est nettement supérieure.

Il faut observer d'autre part que mes essais m'ont donné la conviction et le moyen d'augmenter encore la puissance d'amortissement en modifiant dans un sens que je connais les formes des aubes d'amortissement. De sorte que les résultats obtenus ne sont pas définitifs.

Si la question vous intéresse, je ne manquerai pas de vous mettre au courant des expériences que je continue à poursuivre. Je ne demanderais pas mieux que de vous confier la forme et la disposition des aubes d'amortissement qui me donnent les résultats indiqués, si je ne considérais pas cette forme, laquelle est de réalisation difficile, comme tout à fait provisoire et si je ne comptais pas en réaliser d'autres à très bref délai suivant les indications fournies par les expériences.

Croyez, Monsieur et Cher Camarade, à mes sentiments les plus dévoués.

D en il.

---

## Перечень чертежей, рисунков и литературы.

---

- I лист.** Рыбоход системы Дениля на плотине д'Англер (ф. 1, 2, 3 и 4).  
Тип нового рыбохода на р. Маасе.  
Общий план спрямления р. Урт и план плотины в д'Англер.  
Опытный лоток инж. Дениля (фотогр.).
- II лист.** Плотоход в Либшицах (черт. 2).  
Плотоход в Трое (черт. 1).  
Плотоход в Лобозицах (черт. 3).  
Детали зубьев системы Базика и Дениля (черт. 4, 5, 6 и 7).  
Диаграммы сопротивления баржей по взводному судоходству по опытам в Дунае Зуппана и инж. Госпотского (черт. 8).
- III лист.** Пояснение мер, принимаемых для защиты основания в водоемовых плотинах и пр. (черт. 1 и 2).  
Продольный разрез ступенчатой плотины с защитой оснований от размыва (черт. 3).  
Зубья системы Базика в Лобозицах. (Две фотогр. 4 и 5).
- IV лист.** Плотоход в Либшицах. (Две фотогр. 3 и 4).  
Решетчатая рама в плотоходе для защиты основания (черт. 1).  
Предполагаемый наклонный канал с зубьями Дениля (черт. 2).
- V лист.** Цилиндрический затвор на плотоходах.  
Пешеходный мостик на плотоходах.
- VI лист.** Графики и чертежи гидравлических осей.
- 

## Литература.

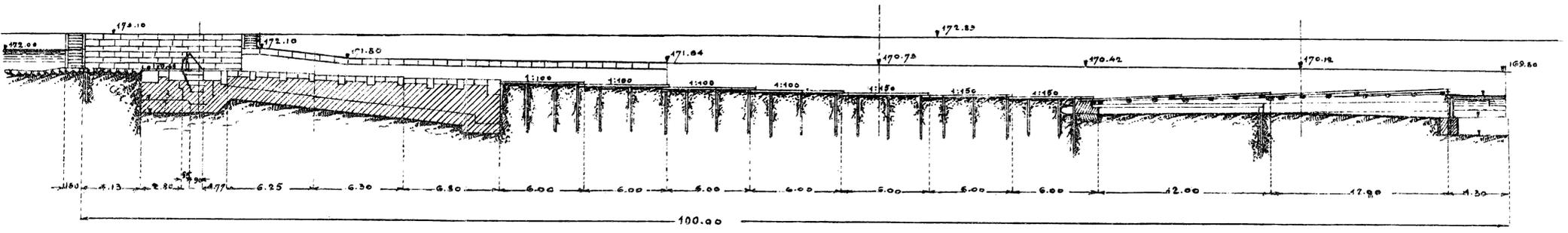
---

1. M. Boudin. „De l'axe hydraulique des cours d'eau contenus dans un lit prismatique“. Gand. 1863. Annales des travaux publics de Belgique t. XX.
  2. Davignaud, ing. „Notes sur les axes hydrauliques“ там-же за 1906 г. № 6.
  3. A. Boulanger. Hydraulique générale, 1909. Paris. Encyclopedie scientifique publiée sous la rédaction de D-r Toulouse.
  4. В. И. Чарномский. Задачи на установившееся неравномерное течение в открытых прямых руслах. Сборник И. И. П. С. вып. LXXXVII 1914 года.
-

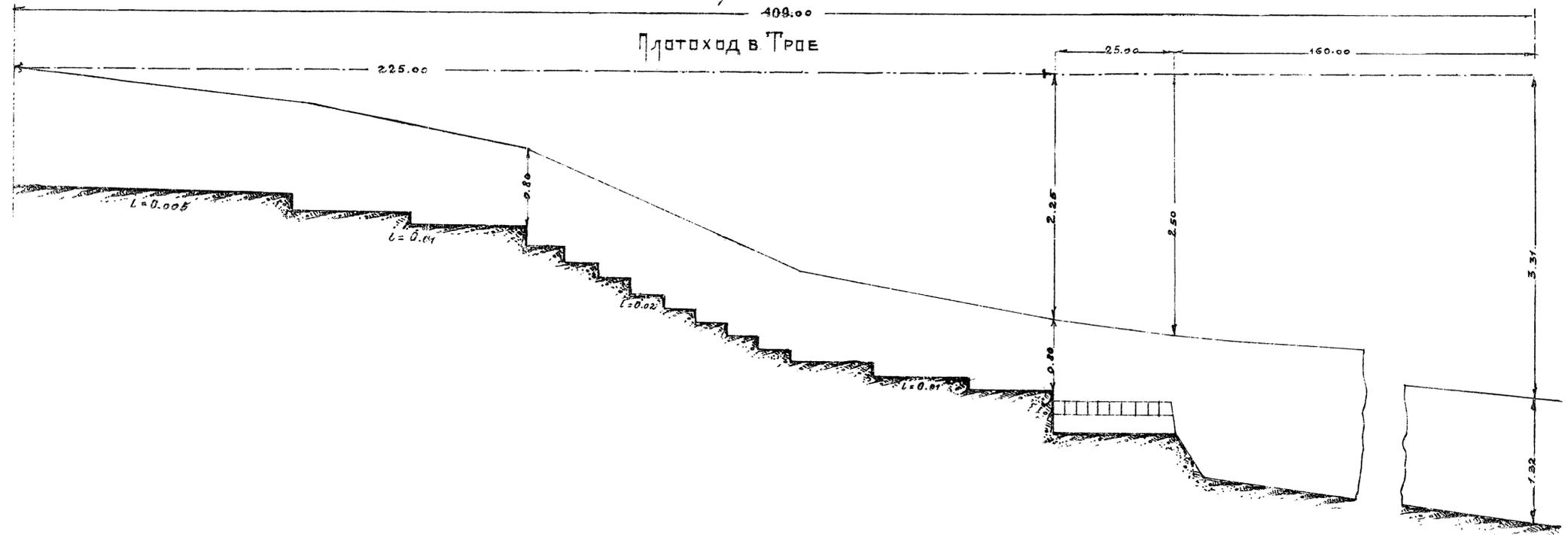




Чер. 2  
Плотоход в Либицах

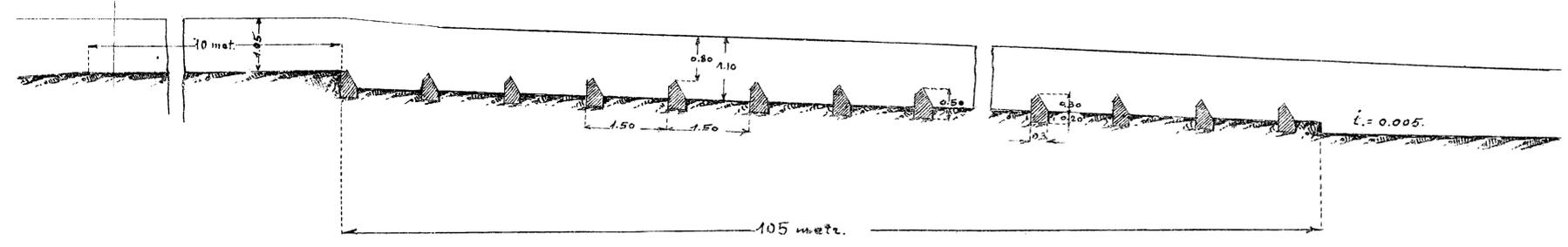


Чер. 1

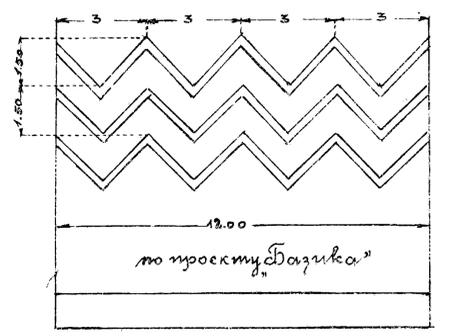


Продольный разрез плотохода

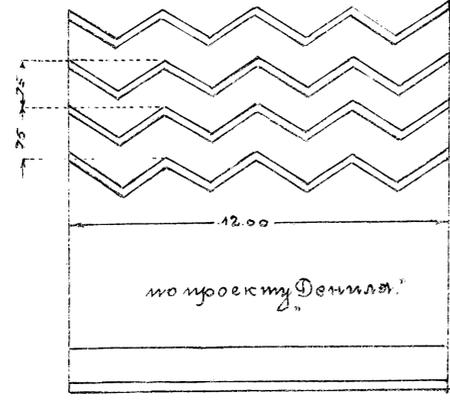
Чер. 3



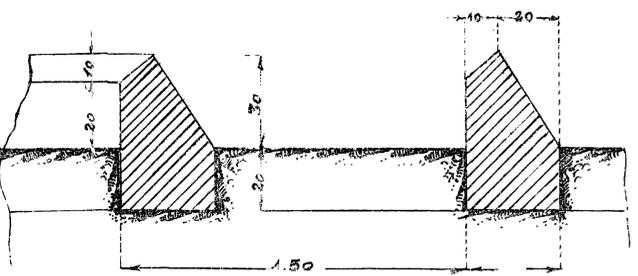
Чер. 4



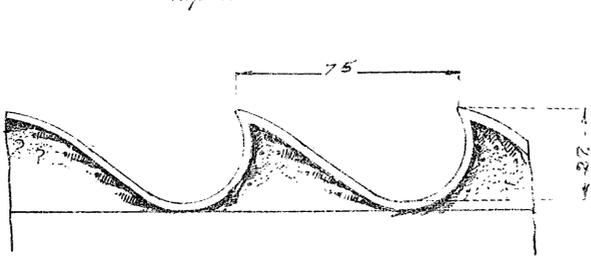
Чер. 5



Чер. 6

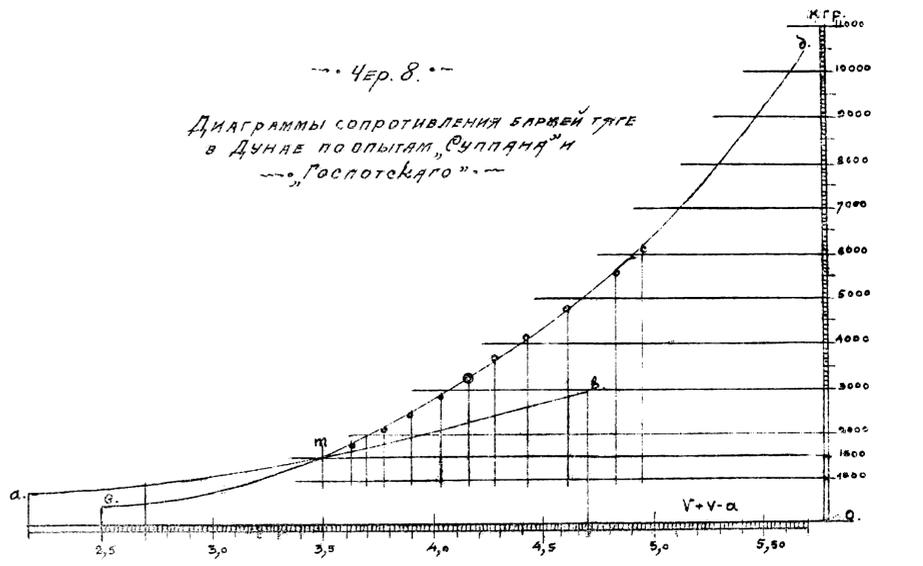


Чер. 7

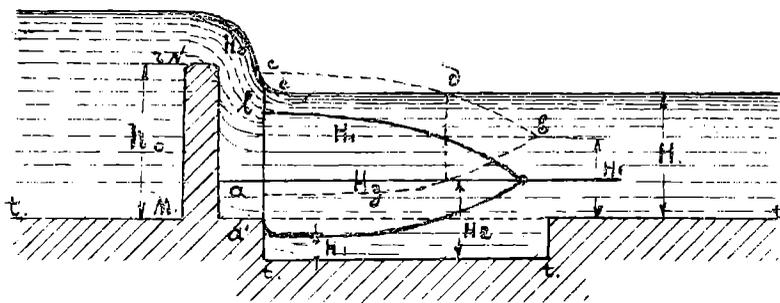


Чер. 8

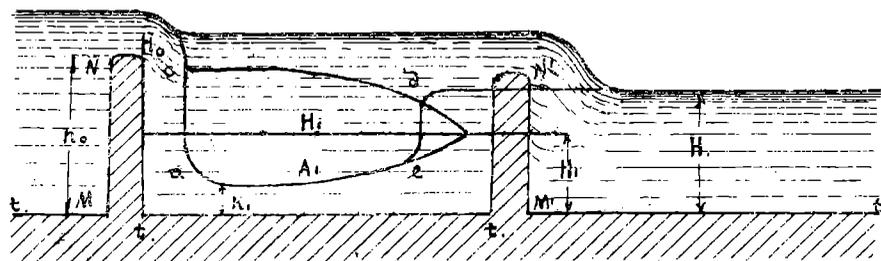
Диаграммы сопротивления барьеру тале в Дунях по опытам «Суппана» и «Госпотеклого»



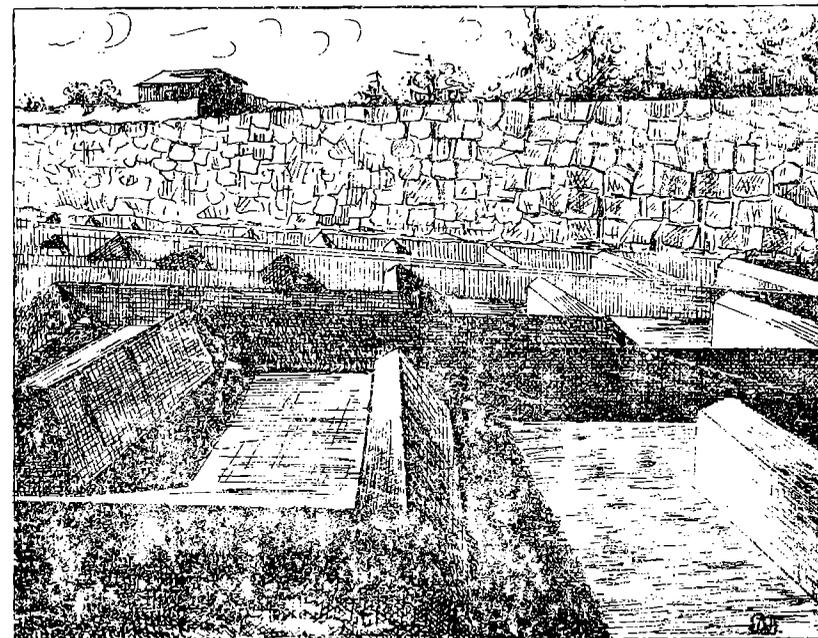
Чертеж 1.



Чер. 2.

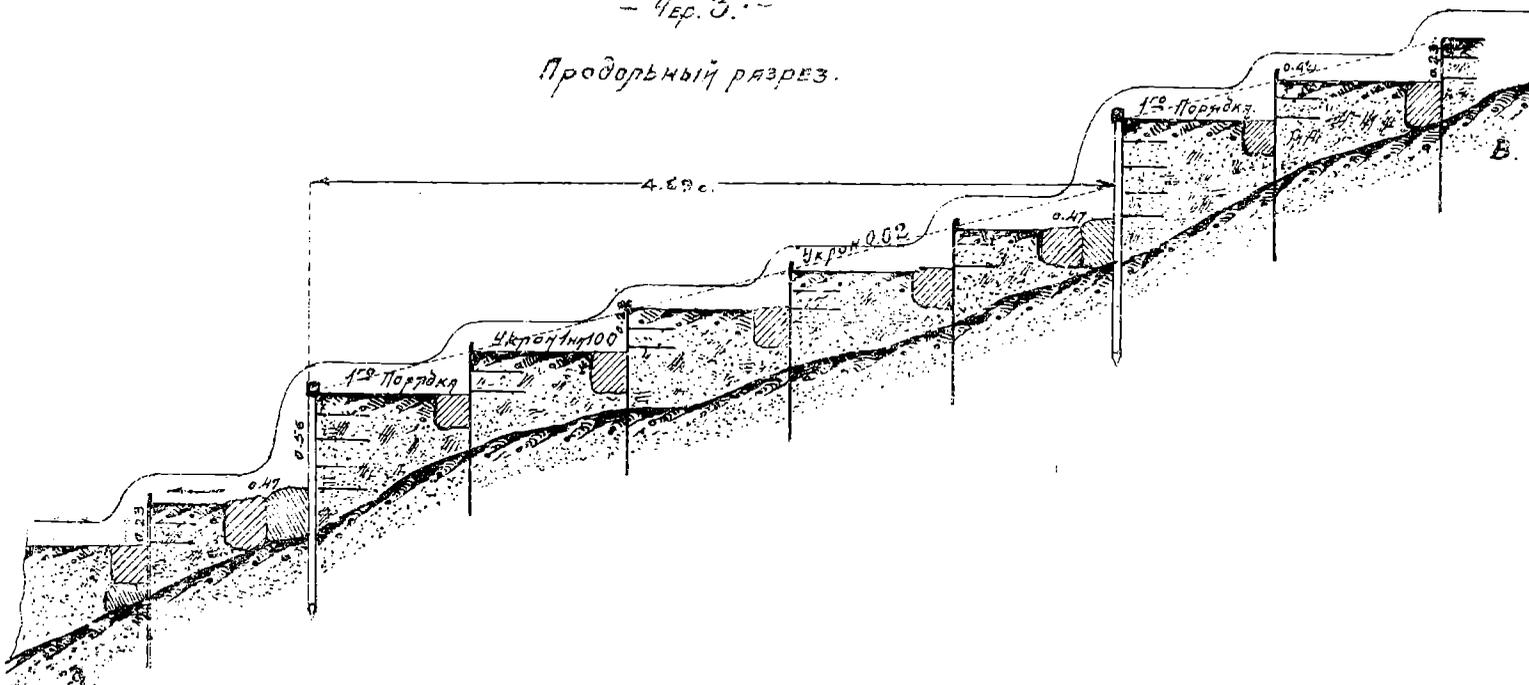


Чер. 4.

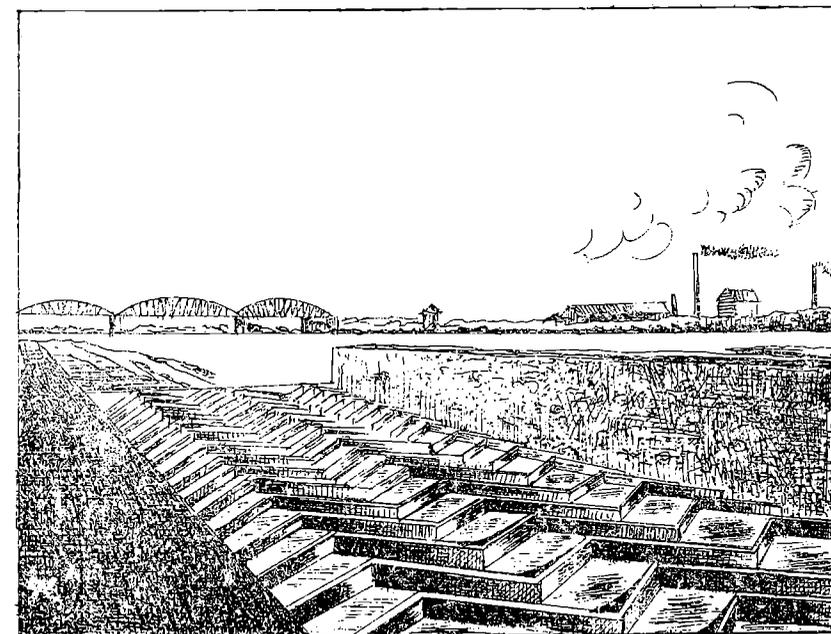


Чер. 3.

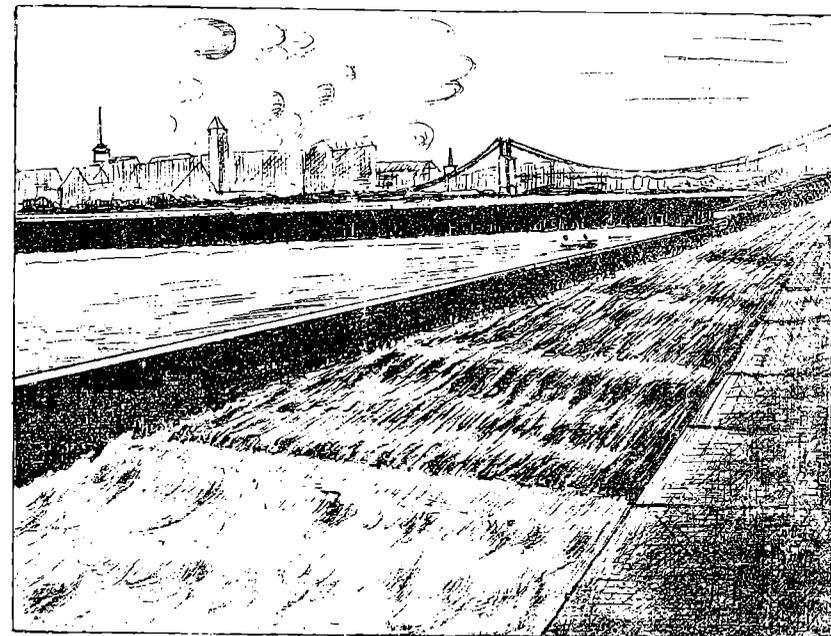
Продольный разрез.



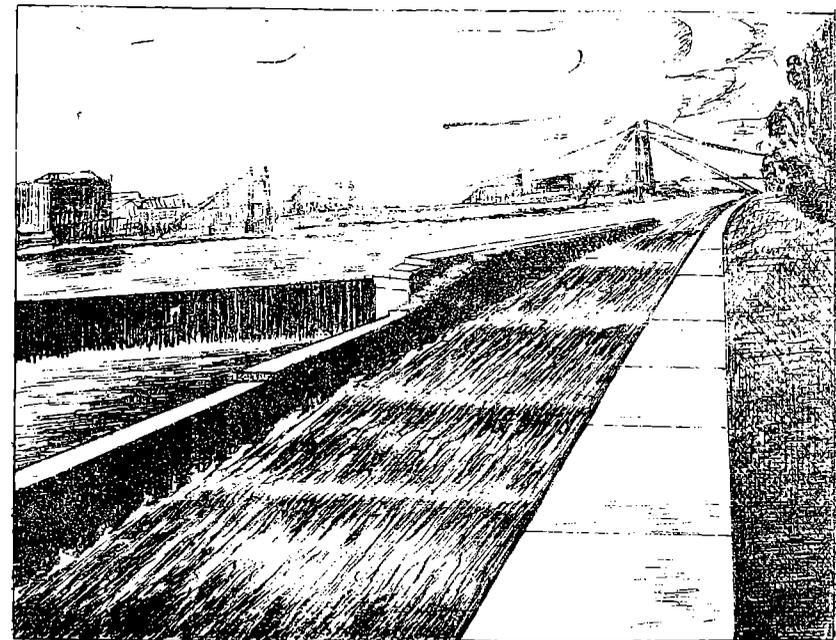
Чер. 5.



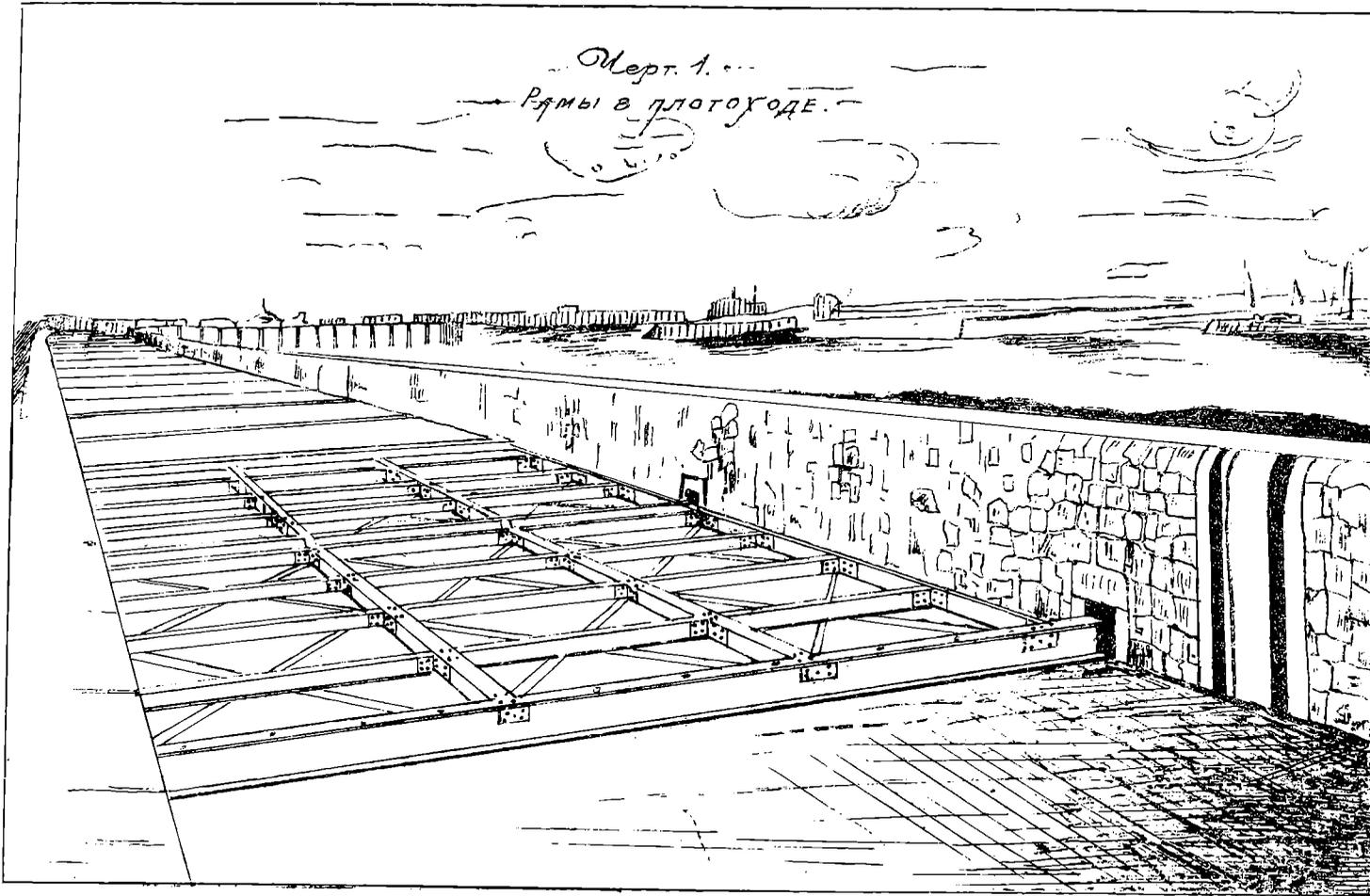
Чер. 3.



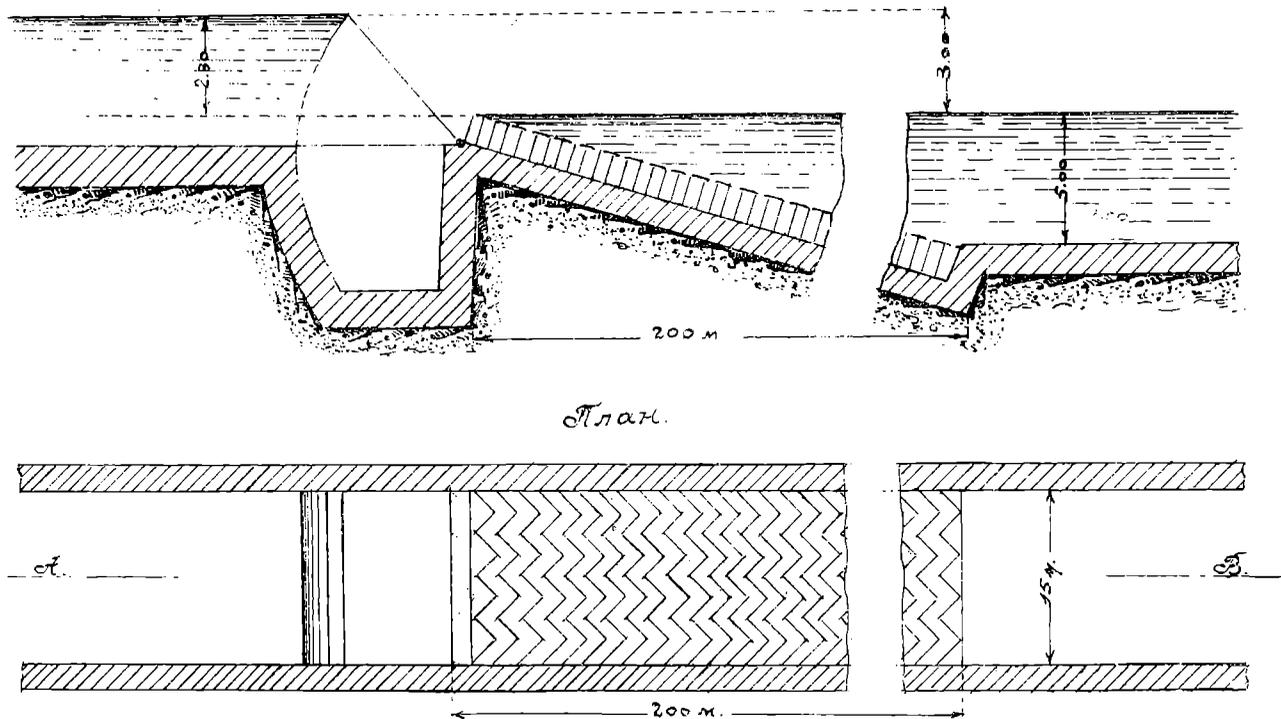
Чер. 4.



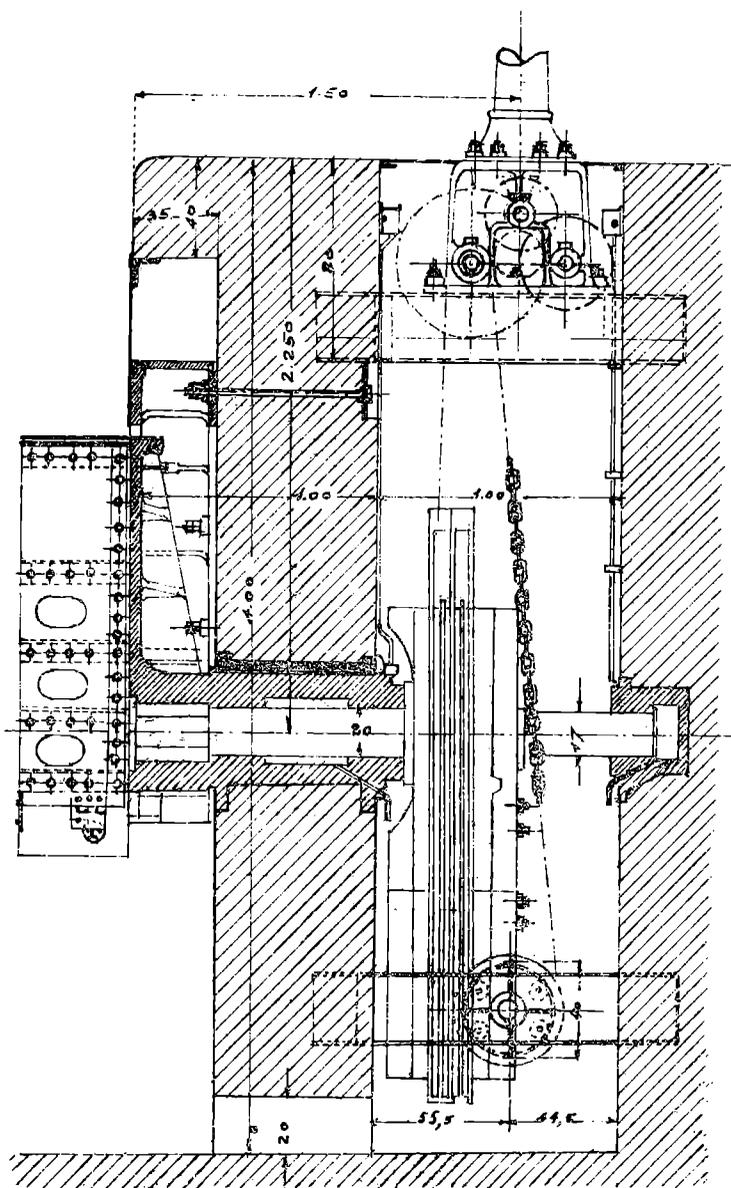
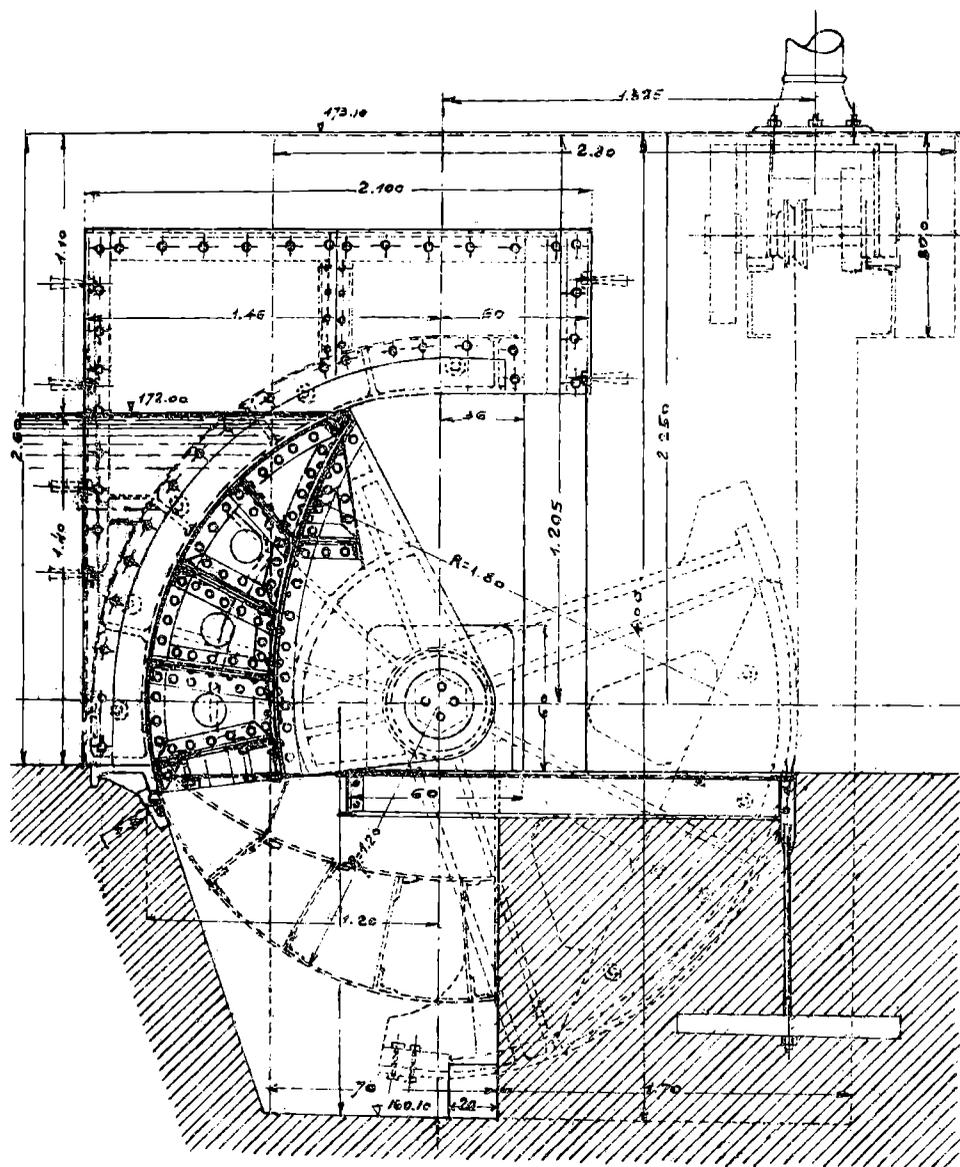
Мерт. 1. ...  
Ряды в плотине.



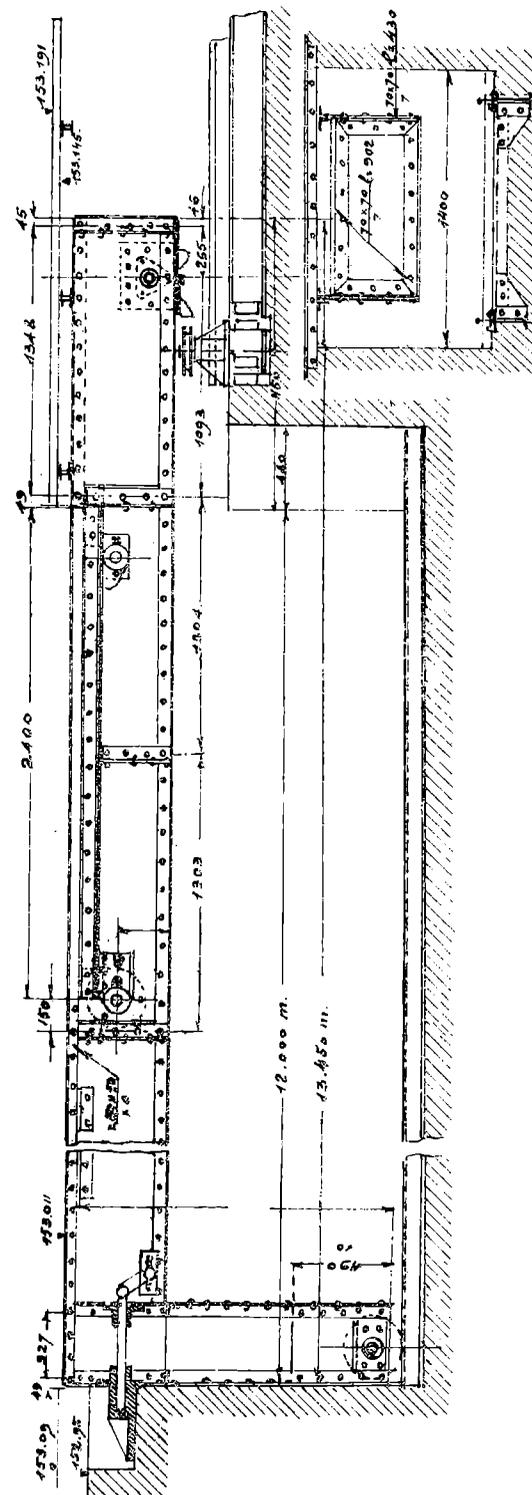
Разрез по А. В.



Цилиндрический затвор протохода  
— в Либшицах —



Мостик в протоходе

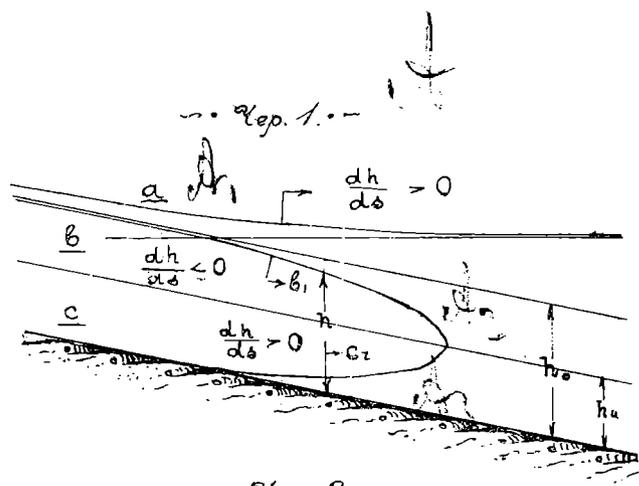


Здесь  $N$   
 $N_1 - h_k$

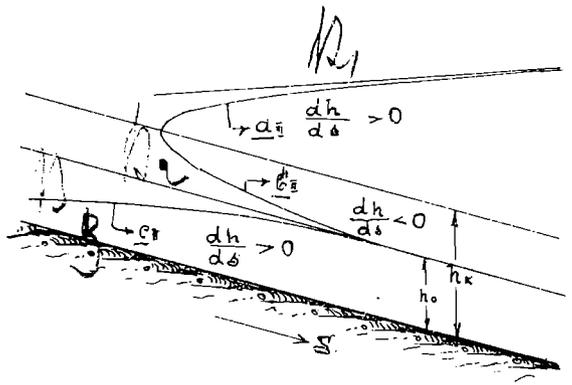
# Лист № 6.

См. примечание к странице 10-ой и 11-ой.

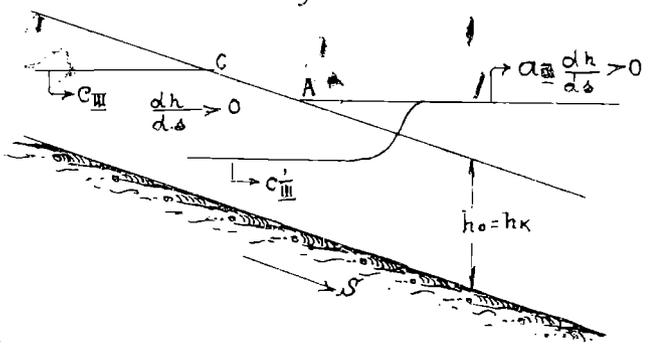
..Чер. 1..



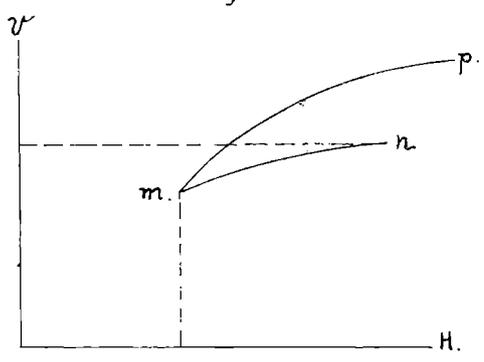
..Чер. 2..



..Чер. 3..



..Чер. 4..





64к.

H  
—  
4211  
№2