МИНИСТЕРСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ РСФСР

Государственный дорожный проектно-изыскательский и
научно-исследовательский институт
ГИПРОДОРНИИ

Р Е К О М Е Н Д А Ц И И

ПО РАСЧЕТУ ОТВЕРСТИЙ МОСТОВ НА РЕКАХ ГОРНО-ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ

Утверждены Минавтодором РСФСР
Протокол № 23 от 2 августа
1978 года

Москва 1980

gost.e-ecolog.ru

Настоящие "Рекомендации" разработаны Ростовским-на-Дону филиалом Гипродорнии на основе теоретических и экспериментальных исследований, выполненных как в лабораторных, так и натурных условиях, а также обобщении результатов отечественных и зарубежных исследователей.

На основе классификации режимов транспорта донных наносов получены зависимости для нормирования общего предельного размыва в отверстии мостов. Для рек горно-предгорной зоны выявлены величины размывов; превышающие действующие нормативы. Лабораторные и натурные эксперименты подтвердили справедливость этого положения.

"Рекомендации" разработаны Л.Д.Коганом. "Рекомендации" предназначаются для инженерно-технических работников, занятых в области проектирования искусственных сооружений на реках горно-предгорной зоны.

Замечания и предложения по "Рекомендациям" просим направлять по адресам:

109089 Москва, наб.Мориса Тореза, 34, Гипродорнии,

344717 Ростов-на-Дону, ул.Московская, 73, Ростовский филиал Гипродорнии

Заместитель директора Гипродорнии по научной работе доцент, канд.техн.наук А.П. ВАСИЛЬЕВ

I. ВВЕДЕНИЕ

Размеры мостовых переходов, а следовательно, и их стоимость определяются на основании величины общего и местного размывов. Существующие методы расчета размывов основаны на точном знании величин гидравлической крупности наносов, слагающих русло горных рек, сдвигающей скорости потока, расхода донных и взвешенных наносов.

Предложенные зависимости позволяют с достаточной точностью определять входящие в них величины: гидравлическую крупность, критическую расчетную и нормативную сдвигающую скорости потока с учетом формы частиц (недоучет форм частиц, свойственных наносам горных рек, может вызвать изменение критической сдвигающей скорости потока до двух раз).

В "Рекомендациях" с помощью предложенного критерия устойчивости дана классификация режимов транспорта донных наносов. Для каждого режима транспорта приведены значения критерия их устойчивого существования и зависимости расхода донных наносов.

На основе полученных зависимостей для расхода донных наносов уточнена зависимость для определения предельного общего размыва в отверстиях мостов с учетом режимов транспорта донных наносов.

2. ЗАВИСИМОСТЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ СДВИГАЮЩЕЙ СКОРОСТИ ВОДНОГО ПОТОКА

2.1. За допускаемую сдвигающую скорость принимается наивысшее значение донной скорости, при которой поток не может вызвать деформации русла. За сдвигающую скорость водного потока принимается скорость, при которой при однородных грунтах не срывается ни одна частица, а при разнородных грунтах – ни одна частица эквивалентного диаметра, и наибольшие значения пульсаций подъемной силы еще не превосходят массы частицы в воде.

2.2. Зависимость для определения нормативной сдвигающей донной скорости потока, полученная с помощью вероятностного подхода, имеет вид:

$$v_{дс}^{н} = K w, \qquad (2.1)$$

где $V^{н}_{дс}$ – нормативная сдвигающая донная скорость потока на высоте выступа шероховатости ($\Delta = 0{,}7\, d_{ср}$);

K – коэффициент, характеризующий критическое отношение сдвигающей скорости к гидравлической крупности;

W – гидравлическая крупность частиц, м/с.

2.3. Расчетная донная сдвигающая скорость потока определяется по зависимости:

$$V^{р}_{дс} = nKW, \qquad (2.2)$$

где n – коэффициент условий работы (см.далее п. 2.6).

2.4. *Переход от донной сдвигающей скорости к средней скорости* в случае плоского турбулентного потока осуществляется по формуле В.Н.Гончарова

$$\frac{V^{н}_{дс}}{V^{н}_{ср.с}} = \frac{1{,}25}{lg(8{,}8\frac{H}{d})} . \qquad (2.3)$$

Тогда сдвигающая средняя скорость потока равна

$$V^{н}_{ср.с.} = 0{,}8 \cdot n^{*} lg\left(\frac{8{,}8H}{d}\right) V_{дс} = 0{,}8 \cdot n^{*} \cdot KW lg\left(\frac{8{,}8H}{d}\right), \qquad (2.4)$$

где $V^{н}_{ср.с.}$ – средняя нормативная сдвигающая скорость;

H – глубина потока;

d – размер частиц .

В случае сужения, растекания или изгиба потока переход от донной сдвигающей скорости к средней на вертикали осуществляется по соответствующей эпюре распределения скорости.

2.5. Коэффициент К, характеризующий критическое отношение сдвигающей донной скорости к гидравлической крупности, определяется в функции от числа Рейнольдса Re по графику, приведенному на рис. I.

Для удобства пользования графиком шкала значения Re совмещена с соответствующим размером частиц при плотности $\rho = 2{,}65$ т/м^3.

2.6. Коэффициент условий работы введен, поскольку сдвигающая скорость потока пропорциональна величине гидравлической крупности, определяемой с ошибкой за счет неправильности форм частиц. Это учитывается соответствующим коэффициентом n^{*}. Коэффициент n^{*} принимают равным I,I5 или 0,85 в зависимости от цели использования в дальнейшем определяемого параметра. Во всех случаях за его величину принимается такая, которая обес-

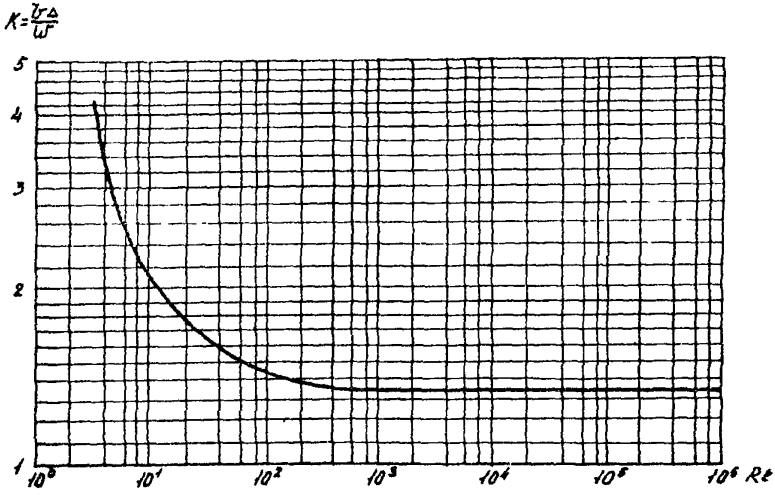


Рис. I. График определения коэффициента К функции от числа Рейнольдса

печивает большую надежность сооружения. Так, при определении размеров камней защитной наброски по сдвигающей скорости величина n^* принимается равной 0,85, а при определении глубины размыва она принимается равной I,I5.

2.I. Гидравлическая крупность наносов

2.I.I. За величину гидравлической крупности принимается скорость равномерного падения частицы в безграничной невозмущенной среде.

Различают три вида режимов обтекания при равномерном падении частиц в безграничной невозмущенной среде: турбулентный, ламинарный и переходный (рис. 2).

2.I.2. *Турбулентный режим** характерен квадратичным режимом

*) Автомодельность (лобовых сопротивлений) в пределах турбулентного режима (Re = 2400-2x10^6) по нашим экспериментам, проведенным в условиях отсутствия влияния стенок, сохраняется.

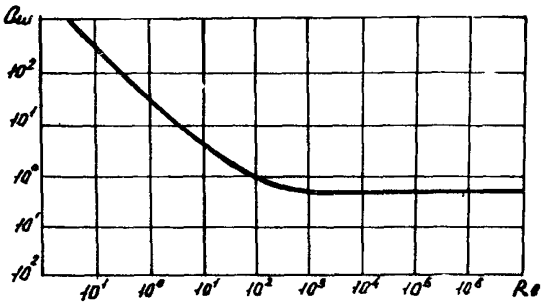


Рис. 2. Коэффициент сопротивления шара в функции числа Рейнольдса

сопротивлений и соответствует $Re > 2400$. Такой режим наблюдается при обтекании естественных частиц крупнее 3–5 мм.

Нормативную гидравлическую крупность при этом следует определять по выражению:

для шаров

$$w^н = 1{,}63\sqrt{\left(\frac{\rho_н}{\rho}-1\right)gd}\ ; \qquad (2.5)$$

для частиц, приближающихся по форме к наносам горных рек,

$$w^н = 1{,}37\sqrt{\left(\frac{\rho_н}{\rho}-1\right)gd_{ср.}\left(\frac{в\cdot c}{d^2_{ср.}}\right)^{0{,}9}}\ , \qquad (2.6)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2;

$\rho_н$ – плотность наносов, тн/м^3;

ρ – плотность среды, тн/м^3;

$d_{ср.}$ – средний геометрический размер частицы, равный

$$d_{ср.} = \frac{a + в + c}{3}\ ,$$

a – максимальный размер частицы, м;

$в$ и c – соответственно ширина и высота частицы, м.

Для наносов горных рек величина $\frac{в\cdot c}{d^2_{ср.}}$ изменяется в пределах от 0,83 до 0,37. Для ориентировочных расчетов в случае отсутствия натурных данных величину ($\frac{в\cdot c}{d^2_{ср.}}$) можно принимать равной 0,6.

Поскольку форма перестает оказывать влияние на гидравлическую крупность частиц уже в начале переходного участка, то коэффициент формы учитывается только на участке квадратичного режима сопротивлений (при $Re > 2400$).

При ламинарном режиме в диапазоне $Re < 1$, т.е. для частиц менее 0,15 мм, гидравлическую крупность следует определять по выражению

$$w = \frac{(\rho_н - \rho) d}{24 \mu}, \qquad (2.7)$$

где μ – коэффициент вязкости среды.

При переходном режиме выражение для гидравлической крупности имеет вид:

$$w = \sqrt[3]{\frac{\rho_н - \rho}{\mu \rho}} \beta d, \qquad (2.8)$$

где множитель β определяется по следующей формуле:

$$\beta = 0{,}031 \lg 83 \left(\frac{3{,}7 d}{d_0}\right)^{1-0{,}037 t}, \qquad (2.9)$$

где d_0 = 0,15 см.

Для практических расчетов гидравлическую крупность однородного несвязного грунта можно определять по его среднему размеру с помощью графиков (рис. 3, 4), построенных по таблицам Б.В.Архангельского.

Расчетная гидравлическая крупность определяется согласно п. 2.6. $w^{р} = n^{*} w^{н}$.

2.2. Гидравлические характеристики неоднородных несвязных наносов

2.2.1. Неоднородным считается грунт, удовлетворяющий неравенству $\frac{d_{max}}{d_{ср.}} \geqslant 3$,

где d_{max} – средний размер крупных частиц, которые составляют 5% массы грунта;

$d_{ср.}$ – средний размер частиц грунта.

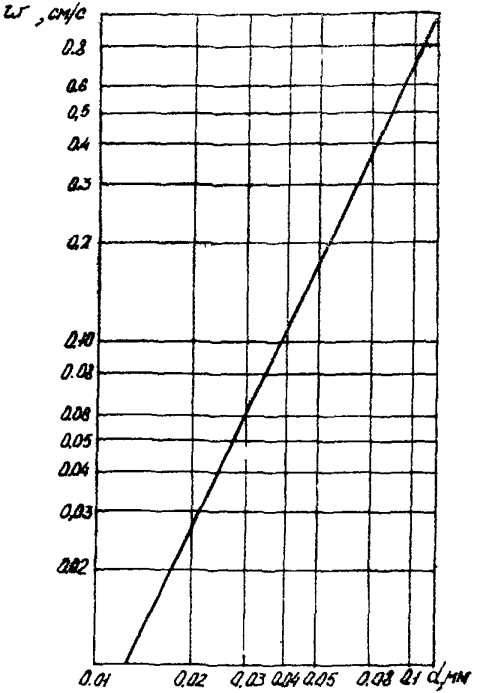


Рис.3. График для определения гидравлической крупности частиц песка

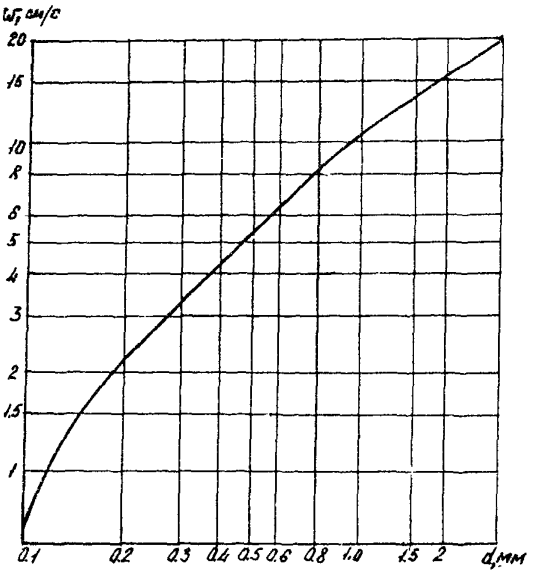


Рис.4. График для определения гидравлической крупности песка и гравия

Гидравлическая крупность грунта, состоящего из различных фракций, определяется как средневзвешенная по формуле

$$w = \frac{\sum w_i P_i}{100}, \qquad (2.10)$$

где w_i – средняя гидравлическая крупность данной фракции грунта;

P_i – процентное содержание фракции.

Средняя гидравлическая крупность фракции определяется как средняя арифметическая гидравлических крупностей при диаметрах частиц, крайних для данной фракции

$$w_i = \frac{w_{i\,max} + w_{i\,min}}{2}. \qquad (2.11)$$

2.2.2. Расчетный диаметр частиц грунта вычисляется по формуле (2.6) по определенной гидравлической крупности, коэффициент формы при этом определяется как средневзвешенный для всей смеси.

2.2.3. Средняя сдвигающая скорость для несвязных неоднородных грунтов определяется по формуле

$$v_{ср.} = 0{,}8\, n^* K w^n \left(\lg \frac{8{,}8H}{d_{ср}}\right). \qquad (2.12)$$

3. РЕЖИМ ТРАНСПОРТА И РАСХОД ДОННЫХ НАНОСОВ

3.1. При взаимодействии потока с дном формируются различные режимы транспорта наносов. Для одного и того же материала дна по мере увеличения скорости режимы транспорта наносов последовательно проходят следующие стадии: сдвиг отдельных частиц, движение частиц монослоем, грядовые образования, стирание гряд и гладкая фаза влечения наносов.

3.2. Анализ режима транспорта наносов производится по величине критерия устойчивости $\xi = v_{ср.}/Kw$.

График для оценки влияния критерия на относительную шероховатость Δ/H представлен на рис. 5.

На графике имеются три критические точки: ξ = 2,5; ξ = 8 и ξ = 14,5. Первая критическая точка соответствует

началу стадии образования гряд, вторая - режиму потока, при ко-

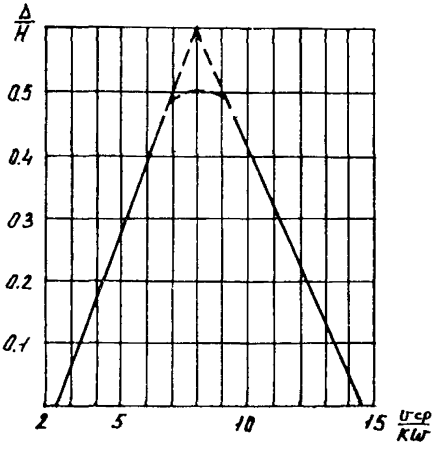


Рис.5. Зависимость относительной высоты гряды $\frac{\Delta}{H}$ от критерия $\varphi = \frac{\upsilon_{ср}}{KW}$

тором высота гряд достигает максимального значения, и третья характеризует полный смыв гряд при значениях φ = I4,5, когда транспорт наносов осуществляется в гладкой фазе. При значении φ = 2,5 транспорт наносов осуществляется монослоем.

3.3. Величину высоты гряд следует определять по зависимостям:

при $2{,}5 < \varphi < 8$ -

$$\frac{\Delta}{H} = 1{,}09\,\frac{\upsilon_{ср}}{KW} - 0{,}273\,; \qquad (3.1)$$

при $8 < \varphi < 14{,}5$ -

$$\frac{\Delta}{H} = 1{,}34 - 0{,}0924\,\frac{\upsilon}{KW}\,, \qquad (3.2)$$

где Δ - высота гряды от подвалья до ее гребня.

3.4. Классификация и параметры режимов транспорта наносов представлены в таблице.

Таблица

Режим движения наносов	Критерий существования	Относительная высота гряд
1	2	3
Без сдвига частиц	$\upsilon_\Delta \le \upsilon_{\Delta c} = KW$	-

I	2	3
Сдвиг частиц	$v_{\Delta} > v_{\Delta c} = KW$	-
Движение частиц монослоем	$\varphi < 2{,}5$	-
Образование гряд	$\varphi = 2{,}5$	-
Развитие гряд	$2{,}5 < \varphi < 8$	$\frac{\Delta}{H} = 0{,}109 \frac{v_{cp}}{KW} - 0{,}273$
Максимальная высота гряд	$= 8$	$max \frac{\Delta}{H} \approx 0{,}5$
Стирание гряд	$8 < \varphi < 14{,}5$	$\frac{\Delta}{H} = 1{,}34 - 0{,}0942 \frac{v_{cp}}{KW}$
Гладкая фаза	$\varphi > 14{,}5$	-

3.5. Расчетная зависимость в общем виде для определения расхода донных наносов, учитывающая режим транспорта наносов, представлена следующим выражением:

$$\frac{q''}{wdp} = C\left(\frac{v_{cp}}{KW}\right)^{n}\left(\frac{1{,}35}{K}\right)^{2}, \qquad (3.3)$$

где q'' – удельный расход донных наносов;

C – коэффициент, величина которого принимается в зависимости от режима транспорта;

n – показатель степени, зависящий от режима транспорта наносов.

Границы изменения пропорциональности расхода донных наносов средней скорости потока совпадают с границами изменения режимов транспорта наносов. При образовании гряд и на стадии их развития расход зависит от скорости в третьей степени. При дальнейшем увеличении скорости, т.е. на стадии стирания гряд и при их исчезновении, расход наносов зависит от скорости в четвертой степени. В начале движения частиц монослоем (это свойственно в основном рекам горно-предгорной зоны) расход донных наносов зависит от скорости в более высокой степени – двенадцатой.

Значения постоянных n и C составляют:

при $2{,}5 > \varphi$ – $n = 12$, $C = 17 \cdot 10^{-7}$,

при $2{,}5 \leq \varphi \leq 8$ – $n = 3$, $C = 64 \cdot 10^{-4}$,

при $8 < \varphi$ – $n = 4$, $C = 78 \cdot 10^{-5}$.

Выражение (3.3) при грядовом режиме транспорта наносов и

при смыве-гряд предполагает развитое движение наносов и в нуль не обращается.

При транспорте частиц монослоем зависимость (3.3) справедлива при донной скорости больше сдвигающей ($v_{\Delta} > v_{\Delta c}^{H}$) определяемой согласно пунктам 2.2 и 2.4.

Недоучет режимов транспорта, особенно на реках горно-предгорной зоны, вызывает значительные погрешности при определении характера и объема русловых переформирований.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ОБЩЕГО РАЗМЫВА В ОТВЕРСТИИ МОСТОВ С УЧЕТОМ РЕЖИМОВ ТРАНСПОРТА НАНОСОВ

4.I. Расчетные зависимости

4.I.I. При расчете общих размывов в отверстии мостов для общего случая уравнение баланса наносов в дифференцированной форме может быть представлено в виде:*)

$$\frac{dG}{dl} + B\frac{\alpha h}{dt} + h\frac{dB}{dt}, \qquad (4.I)$$

где G – расход наносов;

B – ширина фронта переноса наносов;

h – глубина воды в русле.

Второй и третий члены этого уравнения выражают темп приращения площади живого сечения русла в результате глубинной и боковых деформаций.

При расчете неуширяющегося русла

$$\frac{dB}{dt} = 0. \qquad (4.2)$$

---

*) В 1926 г. Экснером было получено уравнение баланса наносов. На основании этого уравнения О.В.Андреевым был разработан и в дальнейшем усовершенствован метод расчета.

С учетом того, что $Bdh = d\omega$, уравнение (4.I) принимает вид:

$$\frac{dG}{dl} + \frac{d\omega}{dt} = 0. \qquad (4.3)$$

В выражении (4.3) второй член (приращение площади живого сечения) становится равным нулю, как только первый член уравнения обращается в нуль, т.е. когда приращение расхода наносов по длине становится равным нулю, что соответствует моменту прекращения размыва. Этот случай соответствует предельному балансу наносов. При этом под мостом продолжается транспорт только бытовых наносов

$$G_{p.\delta} = G_{p.м}. \qquad (4.4)$$

В основу метода расчета отверстия мостов по предельному балансу положено выражение для расхода донных и взвешенных наносов:

$$G = A\frac{v^m B_p}{h^K}\left(1 - \frac{v_0}{v}\right), \qquad (4.5)$$

где m и K – показатели степени, меняющиеся в формулах разных авторов;

$A = f(d)$ – функция крупности наносов;

v_0 – неразмывающая скорость;

B_p – ширина фронта переноса наносов.

При решении уравнений (4.4) и (4.5) для бытового и сжатого сечений, получена формула предельного размыва под мостом

$$h_{p.м} = h_{p.\delta}\left(\frac{Q_{p.м}}{Q_{p.\delta}}\right)^{\frac{m}{m+K}}\left(\frac{B_{p.\delta}}{B_{p.м}}\right)^{\frac{m-1}{m+K}}, \qquad (4.6)$$

где $Q_{p.м}$ – расход воды в отверстии моста;

$Q_{p.\delta}$ – расход воды в русле реки.

Значения показателей степени, рекомендуемые предшествовавшими исследователями, приведены в табл. II в работе "Вопросы мостовой гидравлики и гидрологии" (М., "Транспорт", I967). Эти значения приняты с округлением до целых: m = 4, K = = 0,4–0,5. В связи с изложенным расчетная формула для определения глубины предельного общего размыва получила вид:

$$h_{р.м} = h_{р.б}\left(\frac{Q_{р.м}}{Q_{р.б}}\right)^{8/9}\left(\frac{B_{р.б}}{B_{р.м}}\right)^{2/3}. \qquad (4.7)$$

Следует отметить, что метод баланса наносов правильно отражает физическую сущность явления. Он в настоящее время с успехом применяется в практике проектирования мостовых переходов. Однако предельное значение величины размыва в зависимости (4.7) целиком зависит от исходной формулы расхода донных наносов и в первую очередь от величин показателей степени в выражении (4.6).

Поскольку до сих пор не было однозначности в исходной формуле по определению расхода донных наносов, конкретная величина показателей степени в формуле предельного общего размыва оставалась невыясненной.

Неоднократная проверка зависимостей, в том числе и зависимости (4.5) , для расхода донных наносов как в лабораторных, так и в натурных условиях показала значительные расхождения (сто и более процентов). Это приводит к значительным погрешностям при определении размывов в отверстиях мостов. Как показано ниже, значительные погрешности получаются при расчете размывов на реках горно-предгорной зоны.

Положенная в основу уравнения (4.4) зависимость для расхода наносов в виде (4.5) не учитывает структурный транспорт наносов (сплошное влечение наносов, гряды, смыв гряд). Предложенная Ростовским-на-Дону филиалом Гипродорнии классификация режимов транспорта приведена в разделе 3. Она позволила систематизировать накопленный материал по расходу донных наносов. Результаты обобщения экспериментов подтвердили высказанное ранее предположение о непостоянстве при относительной скорости $(v/v_0)^n$. Величина показателя степени зависит от режима транспорта наносов и имеет численное значение - 3,4,I2. Причем двенадцатая степень соответствует режиму транспорта наносов горных рек. В общем виде предложенная зависимость (3.3) для удельного расхода донных наносов может быть представлена таким образом:

$$q'' = c d w \rho\left(\frac{v}{K w^{H}}\right)^{n}\left(\frac{1,35}{K}\right)^{2}. \qquad (4.8)$$

С учетом предложенной зависимости (4.8) выражения для расхода твердых частиц в бытовых и стесненных створах имеют вид:

$$G_{р.б} = c d w^{н} \rho \left(\frac{v_{р.б}}{K w}\right)^{n} \left(\frac{1{,}35}{K}\right)^{2} B_{р.б}\ ; \qquad (4.9)$$

$$G_{р.м} = c d w^{н} \rho \left(\frac{v_{р.м}}{K w^{н}}\right)^{n} \left(\frac{1{,}35}{K}\right)^{2} B_{р.м}\ . \qquad (4.10)$$

Учитывая, что размыв под мостом прекратится, как только восстановится продольный баланс наносов, выражения (4.9) и (4.10) можно приравнять:

$$c d w^{н} \rho \left(\frac{v_{р.б}}{K w^{н}}\right)^{n} \left(\frac{1{,}35}{K}\right)^{2} B_{р.б} = c d w^{н} \rho \left(\frac{v_{р.м}}{K w^{н}}\right)^{n} \left(\frac{1{,}35}{K}\right)^{2} B_{р.м} \qquad (4.11)$$

Полагая гранулометрический состав донных наносов в отверстии моста до и после размыва неизменным, так как ширина несопоставима с длиной реки, после преобразования получаем

$$v_{р.м}^{n} B_{р.м} = v_{р.б}^{n} B_{р.б}\ . \qquad (4.12)$$

Выражая скорость течения в бытовом и сжатом сечениях через расход, глубину и ширину руслового потока

$$v_{р.б} = \frac{Q_{р.б}}{h_{р.б} \cdot B_{р.б}}\ , \qquad (4.13) \qquad v_{р.м} = \frac{Q_{р.м}}{h_{р.м} B_{р.м}} \qquad (4.14)$$

и подставляя выражения (4.13) и (4.14) в равенство (4.12), получаем

$$\left(\frac{Q_{р.б}}{h_{р.б} B_{р.б}}\right)^{n} B_{р.б} = \left(\frac{Q_{р.м}}{h_{р.м} B_{р.м}}\right)^{n} B_{р.м}\ . \qquad (4.15)$$

В результате преобразования выражение для глубины под мостом после размыва в общем виде можно записать:

$$h_{р.м} = h_{р.б} \left(\frac{Q_{р.м}}{Q_{р.б}}\right)\left(\frac{B_{р.б}}{B_{р.м}}\right)^{1-\frac{1}{k}}\ . \qquad (4.16)$$

Таким образом, формулы для определения величины общего размыва под мостом с учетом режимов транспорта наносов имеют вид:

для сплошного влечения наносов на горных реках

$$h_{р.м} = h_{р.б} \left(\frac{Q_{р.м}}{Q_{р.б}}\right)\left(\frac{B_{р.б}}{B_{р.м}}\right)^{11/12}\ ; \qquad (4.17)$$

для области развития гряд

$$h_{р.м} = h_{р.б} \left(\frac{Q_{р.м}}{Q_{р.б}}\right)\left(\frac{B_{р.б}}{B_{р.м}}\right)^{2/3}\ ; \qquad (4.18)$$

для области смыва гряд

$$h_{р.м} = h_{р.б} \left(\frac{Q_{р.м}}{Q_{р.б}}\right)\left(\frac{B_{р.б}}{B_{р.м}}\right)^{3/4}\ . \qquad (4.19)$$

4.2. Определение величины общего размыва в отверстии моста

4.2.I. В отверстии моста при учете русловых переформирований различают два вида деформаций.

Первые, бытовые или природные деформации. Бытовые деформации делятся на многолетние обратимые и необратимые и деформации, связанные с режимом транспорта наносов. Эти деформации могут быть как плановые, так и высотные.

Вторые, главные, деформации переформирования связаны со стеснением потока, т.е. являются следствием увеличения скоростей в русле реки и изменения ширины фронта переноса наносов. Такое общее понижение отметок дна в районе мостового перехода называется общим размывом.

Глубину после развития размыва по вертикали (без учета местного размыва) определяют по следующей формуле

$$H^{p}_{p.м} = h_{p.м} + \Delta h_{б.м} + \Delta h_{гр.} , \qquad (4.20)$$

где $h_{p.м}$ – глубина потока после общего размыва под мостом;

$h_{б.м}$ – приращение глубины за счет многолетних переформирований;

$h_{гр.}$ – приращение глубины за счет структурного транспорта наносов.

Прогнозирование и нормирование многолетних природных переформирований выходит за рамки настоящих рекомендаций, их следует определять согласно действующим указаниям или по данным, полученным в период подготовки и производства изыскательских работ.

Настоящие рекомендации не нормируют также толщу слоя влечения донных наносов на стадии смыва гряд и при сплошном влечении.

4.2.2. Поскольку русловые переформирования на горных реках происходят значительно быстрее, чем на равнинных из-за высокой степени зависимости расхода наносов от скорости потока,

глубину воронки общего размыва следует определять по предельному балансу наносов с учетом режимов их транспорта.

4.2.3. Выбор расчетной зависимости для определения величины предельного размыва производится в зависимости от режима транспорта, который определяется по величине критерия устойчивости

$$\varphi = \frac{v_{cp}}{K w^n}, \qquad (4.21)$$

где φ – критерий устойчивости.

Согласно классификации режимов транспорта наносов, предложенной Ростовским-на-Дону филиалом Гипродорнии, критерии стабильного существования различных форм движения наносов следующие:

для образования гряд $2{,}5 < \varphi < 8$;

для смыва гряд $8 < \varphi < 14{,}5$;

для гладкой фазы $\varphi > 14{,}5$

при движении частиц монослоем $\varphi < 2.5$. При влечении монослоем наносов ($\varphi < 2{,}5$) величина предельного размыва определяется по зависимости (4.17).

При устройстве моста через блуждающую реку беспойменного типа, когда $Q_{р.м} = Q_{р.б.} = Q$, но $B_{р.м} < B_0$, зависимость (4.17) принимает вид:

$$h_{р.м.} = h_{р.б} \left(\frac{B_0}{B_{р.м}} \right)^{11/12}, \qquad (4.22)$$

где B_0 – величина бытовой ширины реки.

На стадии образования гряд ($2{,}5 < \varphi < 8$) величина предельного размыва определяется по формуле (4.18). В этом случае в величине глубины под мостом после размыва должна быть учтена высота гряд. Высота гряд при этом режиме транспорта наносов определяется по зависимости

$$\Delta = h_{р.м} \left(0{,}109 \frac{v_{р.м}}{K w^n} - 0{,}273 \right). \qquad (4.23)$$

Приращение глубины за счет структурного транспорта наносов определяется по формуле:

$$\Delta h_{гр} = 0{,}65 \Delta. \qquad (4.24)$$

На стадии смыва гряд и при сплошном влечении наносов ($\xi > 8$) величина предельного размыва определяется по формуле (4.19). Высота гряд на стадии их смыва

$$\Delta = h_{p\,м}\left(1{,}34 - 0{,}0942\frac{v_{р.м}}{K\sqrt{J}}\right). \qquad (4.25)$$

4.2.4. Для рек типа "блуждающих", когда $Q_{р.м} = Q_p S = Q$, но $B_{р.м} < B_0$, величина бытовой ширины реки принимается B_0

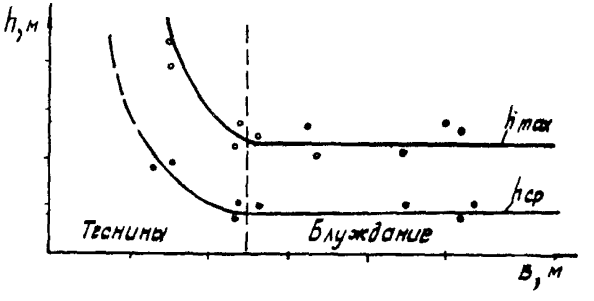


Рис. 6. График средних глубин блуждающей реки

согласно рекомендациям О.В.Андреева по графику, приведенному на рис. 6.

П Р И Л О Ж Е Н И Я

Приложение I

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА НАНОСОВ ГОРНЫХ РЕК

Задачей рекомендаций является уточнение зависимостей, являющихся исходными данными при расчете искусственных сооружений с учетом формы частиц. Недоучет форм частиц при расчете гидравлической крупности наносов может вызвать изменение скоростей в 1,5-2 раза.

Пробы следует производить в местах, являющихся в период паводков русловой частью потока. При этом следует избегать места растекания или изгиба потока, а также отбора проб из структур, образованных при спаде скоростей. При структурном транспорте наносов (побочни, осередки, гряды, рифель) пробы отбираются из средней части образования. Количество проб при изменениях мостовых переходов должно быть не менее трех.

Гранулометрический состав наносов горных рек определяется объемным способом. Объем пробы, а следовательно, и размеры задаваемого шурфа-прикопки, должны определяться из условия, что объем наиболее крупного валуна пробы (транспортируемого потоком) составляет менее 1% объема шурфа (рис. I.П).

Для валунов, размер которых не позволяет вести взвешивания, масса определяется по объему, умноженному на среднюю плотность камня.

Средняя плотность камня определяется по формуле (I) или по графику на рис. .2.П.

$$\mathcal{V} = 0{,}52\, d_{cp}^{3} \quad , \qquad (I.П)$$

где d_{cp} - средний размер камня, см;

$$d_{cp} = \frac{a + в + c}{3},$$

где а - максимальный размер частиц;

в, с - соответственно ширина и высота частицы.

Выполнение работ по определению гранулометрического состава наносов горных рек рекомендуется производить в следующей последовательности.

I. На обследуемом участке открывается шурф в форме куба с размерами ребра согласно рис. 2.II.

2. Извлеченный материал делится по среднему размеру на частицы более и менее 100 мм.

3. Обмер валунов более 100 мм производится в полевых условиях подряд без сортировки. При значительном содержании валунов в пробе отбор частиц для определения параметров производится путем квартования.

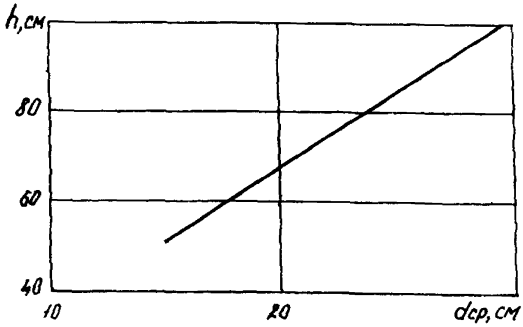


Рис.III. Зависимость глубины шурфа от среднего размера наиболее крупных частиц

Процентное содержание в пробе наиболее крупных частиц определяется в этом случае до квартования.

При обмере частиц фиксируются все линейные размеры каждого валуна "а", "в", "с" и производится деление по среднему размеру с шагом 50 мм на фракции: 100-150 мм; 150-200 мм; 200-250 мм; 250-300 мм; 300-350 мм и т.д. После разделения каждая из этих фракций взвешивается.

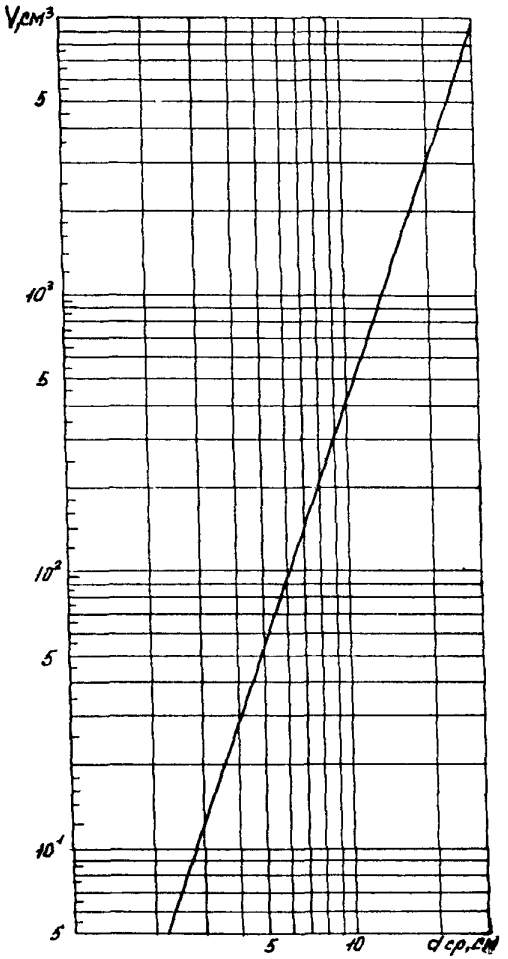


Рис.2П. Зависимость объема V от среднего диаметра d ср

4. Определение состава частиц в пробе менее 100 мм производится ситовым методом. Для этого методом квартования отбирается проба массой 20-25 кг и высылается в лабораторию.

5. После рассева и определения процентного содержания каждой фракции находится коэффициент формы.

Коэффициент формы в случае геометрического сходства всего состава определяется по наиболее характерным частицам, а в случае отсутствия сходства - для каждой фракции отдельно.

6. Гидравлическая крупность частиц менее 100 мм для каждой фракции может определяться экспериментально.

Полевые записи, результаты рассева и обработки следует производить в соответствии с прилагаемыми формами 1 и 2.

Форма I

ВЕДОМОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА НАНОСОВ ГОРНЫХ РЕК

Положение и номер выработки

_____ км ПК + _____ влево _____ вправо

_____

Наименование водотока _____

Размер выработки h _____ см

Объем выработки V _____ $см^3$

Масса грунта выработки $m = (1-n)\gamma \cdot V$

Общая масса крупных фракций $m_{кр}$ кг

Масса обмеренных крупных фракций $m'_{кр}$ кг

Отношение общей массы крупных фракций к массе обмеренных частиц

$$\frac{m_{кр}}{m'_{кр}} = K_1 .$$

Размеры частиц			Ср. размер частицы $d_{ср} = \frac{a+в+c}{3}$	Коэф. формы $K_ф = \frac{в+c}{d_{ср}}$	Масса частицы	Примечание
а	в	c				

Ф о р м а 2

Положение и номер выработки_____

_____км ПК_____влево_____вправо

Номер лабораторной пробы_____

Пористость грунта n =

Масса грунта выработки m кг

Общая масса крупных фракций $m_{кр}$ кг

Масса обмеренных крупных фракций $m'_{кр}$ кг

Масса i -й крупной фракции $m_{кр\,i}$

Масса обмеренной части i - й крупной фракции - $m_{кр\,i}$

Отношение общей массы крупных фракций к массе обмеренных частиц или отношение массы i- й крупной фракции к массе обмеренных частиц этой фракции $K_1 = \frac{m_{кр}}{m'_{кр}} = \frac{m_{кр\,i}}{m'_{кр\,i}}$.

Общая масса фракций менее 100 мм: $m_м$ кг

Масса пробы для рассева $m'_м$ кг

Масса i -й мелкой фракции $m_{мi}$

Масса рассеянной мелкой фракции $m'_{мi}$

Отношение общей массы мелких фракций к массе пробы для рассева или отношение массы мелкой фракции к массе рассеянной части этой фракции

$$K_2 = \frac{m_м}{m'_м} = \frac{m_{мi}}{m'_{мi}}.$$

Гранулометрический состав, мм			$m'_{кр\,i}$	$m_{мi}$	$m_{\%} = \frac{m'_{кр\,i} K_1}{m} 100\%$	$m_{\%} = \frac{m'_{мi} K_2}{m} 100\%$	$K_ф = \frac{a \cdot c}{d^2_{ср}}$
	Размер сит	Средний размер частиц					
По данным полевых измер.	300	275					
	250	225					
	200	175					
	150	125					
	100	85					
По данным лабор. измерений	70	60					
	50	42.5					
	35	30.0					
	25	20.0					
	15	10.0					
	5	4.0					
	3	0.75					
	1.0	0.375					
	0.5	0.20					
	0.25	0.10					
	0.15	0.0275					
	0.05						
	0,005						

Приложение II

Пример I. Определения расчетных: гидравлической крупности, диаметра и нормативной сдвигающей скорости

Исходные данные

I. Гранулометрический состав

Параметры смеси	Фракции, см												
	8	8-6	6-5	5-4	4-3	3-2,5	2,5-2	2-I,5	I,5-I,0	I,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,I25	0,I25
P %	20,8	I5,0	7,9	I2,3	I5,4	4,5	6,8	4,I	3,9	4,I	I,7	0,3	3,2
K_φ	0,57	0,62	0,62	0,66	0,58	0,64	0,65	0,66	0,57	–	–	–	–
d_{cp}	8,7	7,0	6,5	4,5	3,5	2,75	2,25	I,75	I,25	0,75	0,37	0,2I	0,06

2. Интегральная кривая распределения гранулометрического состава (рис. 3.П.)

3. Глубина потока $H \approx 2{,}00$ м

Определение средневзвешенной гидравлической крупности донных наносов

Параметры смеси	Фракции, см												
	8	8-6	6-5	5-4	4-3	3-2,5	2,5-2	2-I,5	I,5-I,0	I,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,I25	0,I25
P %	20,8	I5	7,9	I2,3	I5,4	4,5	6,8	4,I	3,9	4,I	I,7	0,3	3,2
K_φ	0,57	0,62	0,62	0,66	0,58	0,64	0,65	0,6I	0,66	0,57	–	–	–
w_{cp}	I25,6	II7,8	I04,2	97,6	8I,0	74,9	68,4	58,5	5I,3	37,I	2I,0	I3,0	I,0
$w_i m_i$	26,80	I7,67	8,25	I2,0I	I2,48	8,37	4,65	24,0	20,0	I5,2	36	4	3

Гидравлическая крупность наносов определяется отдельно для каждой фракции:

а) для фракции $d > 0{,}5$ см определяется с учетом формы частиц по выражению

$$w^{н} = 1{,}37\sqrt{\left(\frac{\rho_{н}}{\rho} - 1\right) K_{0}\, d_{ср}\, g}\ ;$$

б) для фракций $d < 0{,}5$ см определяется по графикам на рис. 3.П. и 4.П.

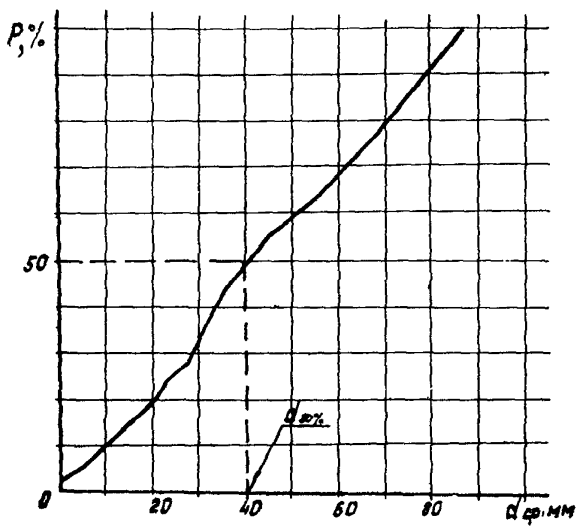


Рис.3П. Интегральная кривая распределения гранулометрического состава

Средневзвешенная гидравлическая крупность:

$$w_{кр}^{н} = \frac{\Sigma w_i m_i}{100} = \frac{9096}{100} = 91 \text{ см/с}.$$

Расчетный диаметр:

$$d_{ср} = \frac{w_{ср}^2}{1{,}37^2\left(\frac{\rho_н}{\rho} - 1\right) K_{ф.ср}^{0{,}9} g};$$

$$d_{ср} = \frac{91^2}{1{,}37^2\left(\frac{2{,}65}{1} - 1\right) \cdot 0{,}649 \cdot 981} = 4{,}2 \text{ см}.$$

Средняя нормативная сдвигающая скорость:

$$v_{ср}^{н} = 0{,}8\, K \left(lg \frac{8{,}8H}{d_{ср}}\right) w_{ср};$$

$$v_{ср}^{н} = 0{,}8 \cdot 1{,}35 \left(lg \frac{8{,}8 \cdot 200}{4{,}2}\right) \cdot 91 = 258 \text{ см/с}.$$

Пример 2. Расчет общего размыва

Расчетный расход воды Q I% - 600 м^3/с
Распределение воды в пойме $Q_п$ = 200 м^3/с, $Q_{р.б}$ = 400 м^3/с.
Средневзвешенная гидравлическая крупность наносов w = 9I см/с.
Расчетный диаметр частиц $d_{ср}$ = 4,2 см
Средняя скорость в русле $v_{р.б}$ = 3,0 м/с
Максимальная глубина с учетом бытовых деформаций $h_{р.б}$ = 3,5
Бытовая ширина фронта переноса наносов B_0 = I20
Ширина фронта переноса наносов в отверстии моста (за вычетом ширины опор) на отметке размыва $B_{р.м}$ = 80
Необходимо определить глубину потока после окончания предельного размыва.

В целях выбора расчетной зависимости для установления продольного размыва определяют режим транспорта наносов в бытовых условиях при расчетном расходе воды

$$\xi = \frac{v_{ср}}{K w} = \frac{3,0}{I,35 \cdot 0,9I} = 2,42.$$

Значение критерия устойчивости не превосходит 2,5 , следовательно, движение наносов происходит в гладкой фазе.

Расчетная зависимость для определения величины общего размыва согласно величине критерия устойчивости должна приниматься в виде:

$$h_{р.м} = h_{р.б} \left(\frac{Q}{Q_{р.б}}\right)\left(\frac{B_0}{B_{р.м}}\right)^{11/12}.$$

После подстановки численных значений максимальная глубина под мостом после размыва

$$h_{р.м} = 3,50 \times \left(\frac{600}{400}\right)\left(\frac{I20}{80}\right)^{II/I2} = 2,7 \times I,5 \times I,453 = 5,87 \text{ м}$$

Пример 3. Расчет общего размыва

Расчетный расход воды $Q_{1\%}$ = 2I00 м^3/с, из них в пойме $Q_п$ = 480 м^3/с.
Средневзвешенная гидравлическая крупность донных наносов w = I5,5 м/с.
Расчетный диаметр частиц $d_{ср}$ = 2,0 мм

Средняя скорость в русле $v_{р.б}$ = I,25 м/с.
Максимальная глубина в русле $h_{р.б}$ = 5,2 м
Бытовая ширина фронта переноса наносов B_0 = 4I0 м
Ширина фронта переноса наносов в отверстии моста (за вычетом ширины опор) $B_{р.б}$ = 350 мм.

В целях выбора расчетной зависимости для определения предельного размыва определяется режим транспорта наносов в бытовых условиях при расчетном расходе воды

$$\xi = \frac{v_{ср}}{Kw} = \frac{I,25}{I,37 \times I5,5} = 5,9 .$$

Следовательно, транспорт наносов будет осуществляться в грядовой форме.

Расчетная зависимость для определения величины общего размыва согласно величине критерия устойчивости должна приниматься в виде:

$$h_{р.м} = h_{р.б}\left(\frac{Q}{Q_{р.б}}\right)\left(\frac{B_0}{B_{р.б}}\right)^{2/3}$$

Численное значение максимальной глубины под мостом после размыва

$$h_{р.м} = 5,2\left(\frac{2I00}{I620}\right)\left(\frac{4I0}{350}\right)^{2/3} = 7,4 \text{ м}$$

Высота гряд после развития ямы общего размыва

$$\Delta = 7,4\ (0,I09\ \frac{I,25}{I,37 \times I5,5} - 0,273) = 2,75 \text{ м}$$

Приращение глубины за счет грядового режима транспорта наносов

$\Delta h_{гр} = 0,65 \cdot \Delta = 0,65 \times 2,75 = I,79$ м .

Таким образом, максимальная глубина по вертикали после развития ямы общего размыва будет составлять

$$H^{р}_{р.м} = \Delta h_{р.м} + \Delta h_{гр} = 7,4 \text{ м} + I,79 = 9,I9 \text{ м}.$$

Приложение III

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ

Свойство жидкости сопротивляться усилиям сдвига называется вязкостью. Обычно вязкость жидкости оценивается по коэффициенту вязкости

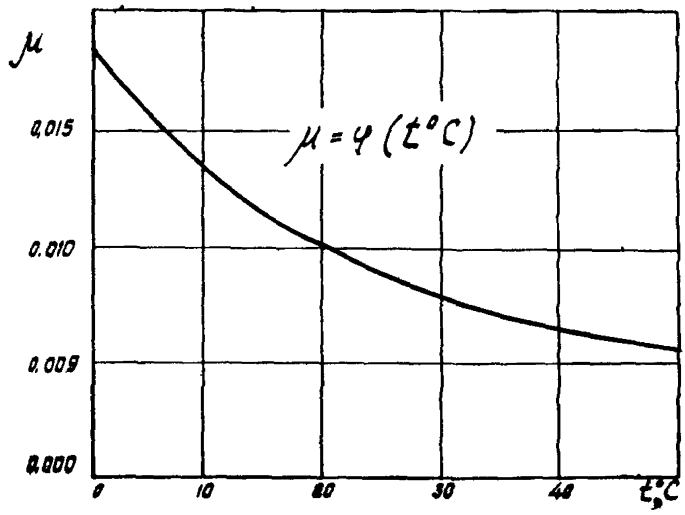


Рис. 4.П. График определения величины коэффициента вязкости $\mu = \varphi(t°C)$ для воды (μ г/см.с)

Кинематическим коэффициентом вязкости ν называется отношение

$$\nu = \frac{\mu}{\rho},$$

где ρ – плотность жидкости, г/см^3.

Значения кинематического коэффициента вязкости для воды

t, °С	ν, $см^2/с$
0	0,0178
5	0,0152
10	0,0131
12	0,0124
15	0,0114
20	0,0101
30	0,0081

gost.e-ecolog.ru