РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОЧИСТКИ РУСЕЛ РЕК ОТ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ



СВЕРДЛОВСК, 1986

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА РСФСР
УРАЛЬСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ВОДНЫХ
РЕСУРСОВ (УралНИИВХ)
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
ОТРАСЛЕВАЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
ОХРАНЫ ВОДНОЙ СРЕДЫ ПРИ МОСКОВСКОМ
ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНОМ ИНСТИТУТЕ
(МИСИ) им. В.В. КУЙБЫШЕВА

РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОЧИСТКИ РУСЕЛ РЕК ОТ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ



Свердловск 1986

АННОТАЦИЯ

Рекомендации разработаны в соответствии с постановлением ГКНТ СМ СССР № 76/61 от 25.03.81 г. и приказом Минводхоза РСФСР № 95 от 18.02.83 г. заведующим отраслевой научно-исследовательской лабораторией охраны водной среды Минводхоза РСФСР при МИСИ им.В.В.Куйбышева канд.техн.наук Боровковым В.С. Научный руководитель - профессор, докт.техн.наук Мищуев А.В. Рекомендации составлены на основе комплекса лабораторных, натурных и расчетно-теоретических исследований и материалов, полученных в УралНИИВХ при содействии координатора НИР зав.лаб., канд. техн.наук Богатырева В.Д.

В полевых и натурных исследованиях, в обработке опытных данных принимали участие ст.научн.сотр. Спиридонов В.Н., мл. научн.сотр. Полякова Э.Н., Жилкин А.П., Колгина Г.К., ст.инж. Халабаева Т.Н , аспиранты Савельев А.Е., Фетисов Ю.М., Красноставска Д., Юрчук М.

В рекомендациях учтены мероприятия по регулированию русловых процессов, приведенные в нормативных документах Минречфлота РСФСР.

При разработке рекомендаций использован опыт и результаты исследований институтов Гидропроект им. С.Я.Жука, Гидроречтранс, МосводоканалНИИпроект. Ряд предложений основан на анализе проектных решений, выполненных в Мосинжпроекте и институте Генерального плана г.Москвы.

Рекомендации рассмотрены и утверждены научно-техническим советом Минводхоза РСФСР (протокол № 73 от 6.07.84 г.).

© Уральский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, 1986

ВВЕДЕНИЕ

ПРИЧИНЫ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ЗАИЛЕНИЯ РЕЧНЫХ РУСЕЛ

Возрастающее хозяйственное использование рек и водосборных площадей, изъятие значительной части стока, отведение в реки загрязненных сточных вод приводят к прогрессирующему загрязнению и заилению речных русел.

В естественном состоянии речное русло представляет собой результат длительного взаимодействия твердого и жидкого стока, поступающего в водоток с водосборной площади.

Объем водного (жидкого) стока с водосборной площади и его распределение во времени определяются характером питания водотока (грунтовое, снеговое, дождевое).

Твердый сток в виде взвешенных наносов является следствием процесса эрозии грунтов на водосборной площади.

Объем жидкого стока, распределение его во времени в условиях сформировавшегося русла определяют транспортирующую способность речного потока, т.е. наибольшее количество взвеси, которое может перемещаться потоком без осаждения в речном русле.

Искусственное нарушение соответствия между транспортирующей способностью водотока и количеством взвесей, поступающих с водосборной площади, является одной из основных причин заиления речных русел.

Транспортирующая способность речного потока определяется скоростью течения. Вследствие аккумуляции стока в наводок и отбора стока в межень для хозяйственного использования, скорости течения и соответственно транспортирующая способность уменьшаются. Так, сокращение расхода в реке на 25% приводит к снижению транспортирующей способности потока в два раза.

Скорости течения в реке зависят не только от величины расхода, но и от режима уровней. При использовании водотока для судоходства, при создании водозаборов и других перегораживающих гидротехнических сооружений бытовой режим уровней нарушается в сторону искусственного увеличения глубин, а скорости и транспортирующая способность падают. Это приводит к заилению водотока на значительных по протяженности участках выше перегораживающих сооружений.

Изменение гидравлических характеристик водотока при воз-

действии на его сток и режим уровней уменьшает также размывающую способность речного потока. В результате скопившиеся русловые отложения не могут размываться речным потоком и процесс аккумуляции отложений в речном русле становится прогрессирующим.

Заиление русла может быть вызвано и увеличенным поступлением продуктов эрозии с водосборной площади, которое, как правило, связано с распашкой значительных площадей, вырубкой лесов и лесонасаждений, нарушением водоохранных зон, отсутствием рациональной агротехники и др. Данный процесс даже при неизменном режиме стока приводит к тому, что транспортирующая способность речного потока оказывается недостаточной для переноса взвесей, поступающих в поток. Излишки взвеси осаждаются в речном русле, вызывая его заиление.

Значительное количество взвешенных веществ может поступать в водоток с неочищенными сточными водами, а также с поверхностным стоком с городских и селитебных территорий, промплощадок животноводческих комплексов и т.п. Сбросы неочищенных сточных вод являются долговременными и поэтому опасными источниками заиления и загрязнения речного русла. Мельчайшие частицы взвеси, попадающие в водоток из источников загрязнения, медленно осаждаются в русле, создавая загрязненные зоны "шлейфа" на участках значительной протяженности.

Поступление взвесей, содержащих органику, нефтепродукты и другие примеси антропогенного и техногенного происхождения, в речной поток, перемешивание их с грунтами русла, длительный процесс консолидации увеличивают связность донных грунтов и устойчивость их к размыву. В этом случае даже при ненарушенном режиме стока речной поток не в состоянии размыть загрязненные донные отложения и обеспечить периодическую самопромывку русла. Все это приводит к необратимому занесению, заилению и обмелению речного русла на участках значительной протяженности. Поэтому осуществление мероприятий по очистке и поддержанию русла в незаиленном состоянии – необходимое условие его нормального функционирования и сохранения в должном санитарном состоянии.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Рекомендации предназначены для использования при проектировании очистки русел рек от загрязненных донных отложений в целях обеспечения нормативных показателей качества речной воды и санитарного состояния водотока и предотвращения вторичного загрязнения.

I.2. Очистка русел рек от загрязненных донных отложений входит в систему мероприятий по охране водных источников в населенных пунктах, городах, градопромышленных районах, агропромышленных комплексах и за их пределами – в зонах отрицательного влияния на санитарное состояние водотока.

I.3. Очистка русел должна быть увязана и на стадии проектирования и на стадии производства работ с проектированием и осуществлением необходимого комплекса водоохранных мероприятий, полностью исключающих или значительно снижающих загрязнение речной воды и очищенных участков русла.

I.4. Необходимость в очистке русел следует устанавливать при помощи объективных критериев и технико-экономических расчетов, учитывая требования санитарного и социального характера.

I.5. Проектирование очистки русла должно базироваться на данных натурных изысканий по выявлению мест скопления загрязненных грунтов с учетом гидрологических и гидрохимических характеристик водотока и его притоков.

I.6. Принципиальные основы проекта очистки русла должны устанавливаться из условий достижения максимального улучшения гидравлических характеристик водотока, хода руслового процесса и сохранения полученных положительных эффектов в течение длительного времени.

I.7. Гидравлические расчеты при проектировании очистки русел следует производить с учетом физических особенностей загрязненных донных отложений, влияющих на процессы размыва, транспорта и осаждения взвесей, а также на гидравлическое сопротивление речного русла.

I.8. Технологическая схема выполнения работ по очистке русла выбирается на основе технико-экономических расчетов, реальных производственных возможностей и требований к охране водотока от загрязнения.

I.9. Проект очистки русла должен включать проектные решения и эксплуатационные мероприятия, предотвращающие повторное

заиление и занесение наносами очищенных участков.

I.IO. В связи с большим объемом и высокой стоимостью работ необходимо предусматривать проверку разрабатываемых проектных решений гидравлическим моделированием.

2. КРИТЕРИИ НЕОБХОДИМОСТИ ОЧИСТКИ РУСЛА ОТ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

2.I. При решении вопроса о необходимости очистки русла от загрязненных отложений следует учитывать социальную значимость этого мероприятия, особенно в тех случаях, когда загрязненный участок русла находится в пределах городской территории.

2.2. Необходимость очистки русла от загрязненных донных отложений должна быть обоснована расчетами показателей качества воды на загрязненном участке русла с учетом вторичного загрязнения. Предельно допустимые значения показателей качества речной воды и расчетные створы следует устанавливать в соответствии с "Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами" [I] . Если водоток протекает по городской территории, то качество воды с учетом загрязняющей роли отложений рассчитывают для низовой границы городской территории. Для зон городских рекреаций, а также для водопользователей, расположенных ниже города (на расстояниях до 30 км), вторичное загрязнение воды определяется на основе натурных изысканий загрязненности речного дна.

2.3. При решении вопроса о необходимости очистки русла загрязненность речной воды для незарегулированных водотоков устанавливается применительно к наименьшему среднемесячному расходу воды года 95%-ной обеспеченности, для зарегулированных водотоков – применительно к гарантированному санитарному попуску [I] .

2.4. Повышение концентрации каждого вида примеси в речной воде C_{gi} (вторичное загрязнение воды) вследствие контакта ее с загрязненными донными отложениями, содержащими растворимые примеси данного вида с концентрацией C_{ri} , рассчитывается по формуле

$$\frac{C_{gi}}{C_{ri}} = \frac{2}{H}\sqrt{\frac{\mathcal{D}_{rm}t}{\pi}}, \qquad (2.I)$$

где H – средняя глубина речного потока, см;

$\mathcal{D}_{гм}$ – коэффициент молекулярной диффузии примесей в донных грунтах (может приниматься равным 0,4 $см^2$/сут);

$t = \frac{L_з}{u}$ – время контакта воды с загрязненными донными грунтами, определяется протяженностью загрязненного участка русла $L_з$ и средней скоростью речного потока u.

2.5. Очистка русла водотока малой или средней водности[1] необходима, если при обеспечении предельно допустимой концентрации (ПДК) на выпусках сбросных и сточных вод (включая поверхностные стоки) сумма отношений концентраций каждого из загрязняющих веществ с одинаковым лимитирующим показателем вредности и соответствующим ПДК превышает единицу,

$$\Sigma \frac{C_{gi}}{ПДК_i} > 1. \qquad (2.2)$$

2.6. Для тех случаев, когда суммарный эффект фоновой загрязненности речной воды и ее вторичного загрязнения приводит к превышению ПДК,

$$\Sigma \frac{C_i}{ПДК_i} > 1, \qquad (2.3)$$

где $C_i = C_{фi} + C_{oi} + C_{gi}$;

$C_{фi}$ – фоновая концентрация рассматриваемой примеси;

C_{oi} – концентрация данной примеси в речной воде вследствие сброса сточных вод;

C_{gi} – концентрация рассматриваемой примеси в речной воде вследствие вторичного загрязнения;

C_i – концентрация веществ с одинаковым лимитирующим показателем вредности.

Необходимость очистки русла определяется технико-экономическим расчетом в сравнении с альтернативными вариантами уменьшения объемов сбросных вод и повышением степени их очистки.

---

[1] Водотоками малой и средней водности считаются водотоки протяженностью до 200 и 500 км соответственно.

2.7. Для крупных водотоков необходимость очистки прибрежных частей русла устанавливается на основе положений, приведенных в п.2.3. ÷ 2.6, с учетом средней глубины, скорости течения и толщины загрязненного слоя отложений. Показатели качества речной воды принимаются для гидрологических условий, близких к тем, которые изложены в п.2.3.

Примеры расчета необходимости очистки русел при различных источниках поступления примеси приведены в приложениях I и 2.

3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОЧИСТКИ РУСЛА

3.I. Проектирование очистки русла (определение участков очистки, разбивка створов) следует производить с использованием картографического материала в масштабе не менее I:5000. При отсутствии картографического материала нужно сделать плановую топографическую съемку русла указанного масштаба.

3.2. Для зарегулированного водотока необходимы данные по регулирующим сооружениям и диспетчерские графики регулирования.

3.3. Для выполнения гидравлических расчетов требуется промер глубин в створах с шагом не менее 0,IB (B – ширина русла в данном створе). Измерительные створы следует размещать на прямолинейных участках русла на расстояниях не более 3B; на излучинах русла разбивают не менее трех измерительных створов. Мерные створы должны быть закреплены на местности в течение всего срока производства работ по очистке русла. Их следует разбивать также ниже города (либо иного мощного источника загрязнений) на участках водотока протяженностью I00B (но не менее 5 км) для удаления отложений из зоны загрязненного "шлейфа".

3.4. Толщина слоя загрязненных отложений и площади их распространения определяются колонковым бурением не менее трех скважин в мерном створе. Ближайшие к берегам скважины следует располагать на расстояниях не более 0,I B от берега. Бурение необходимо производить на глубину, превосходящую толщину слоя загрязненных грунтов, но не менее чем на 2 м.

На предварительных стадиях проектирования площади залегания загрязненных отложений могут приближенно определяться по следующей методике.

3.4.I. При известных глубинах по вертикалям в каждом

мерном створе на прямолинейном участке русла и данном уклоне водотока вычисляется значение местной динамической скорости (для каждой вертикали) в условиях паводка 20%-ной обеспеченности

$$u_{*м} = \sqrt{g h_м i}, \qquad (3.1)$$

где $h_м$ – глубина на данной вертикали;

i – средний уклон речного русла на рассматриваемом участке.

3.4.2. Определяется значение средних скоростей на каждой вертикали

$$u_м = \frac{\sqrt{8}}{\sqrt{\lambda}} \sqrt{g h_м i}, \qquad (3.2)$$

где коэффициент гидравлического сопротивления λ рассчитывается по известным формулам гидравлики [2] либо устанавливается по данным ближайшего гидрометрического поста на основе кривых связи между расходом $Q_р$ и средней глубиной речного потока H по формуле

$$\lambda = 8g \frac{\omega^2 R \cdot i}{Q_р^2}, \qquad (3.3)$$

где $Q_р$ – расчетный расход воды в реке, $м^3/с$;

ω – площадь живого сечения речного потока при данном расходе, $м^2$;

$R = \omega/\chi$ – гидравлический радиус;

χ – смоченный периметр поперечного сечения.

3.4.3. Вычисляется значение критической скорости потока $u_{кр}$, отвечающей условию предельной устойчивости грунта к размыву при известных средних физико-механических характеристиках донного грунта на рассматриваемом участке (средняя крупность частиц грунта $d_{гр}$ для несвязного грунта либо величина сцепления $C_б$ для связного грунта):

для крупнозернистого грунта ($d_{гр} > 0{,}5$ мм)

$$\frac{u_{кр}}{w} = \frac{0{,}45}{\sqrt{\lambda_s}}, \qquad (3.4)$$

где w – гидравлическая крупность частиц донного грунта см/с (при $d_{гр}$ – в см);

$$w = 0{,}1 g d_{гр} \approx 100 d_{гр} ; \qquad (3.4,а)$$

λ_s – коэффициент гидравлического сопротивления ровной зернистой поверхности,

$$\lambda_s = 0{,}11 (d_{гр}/4H)^{0{,}25} ; \qquad (3.4,б)$$

для мелкозернистого грунта (0,I мм $< d_{гр} <$ 0,5 мм)

$$u_{кр} = \frac{0{,}03}{\sqrt{\lambda_s}(1-1{,}25\sqrt{\lambda_s})}, \text{ м/с} ; \qquad (3.5)$$

для связного грунта

$$u_{кр} = 0{,}07 \sqrt{\frac{c_с}{\rho \lambda_s}}, \text{ см/с}, \qquad (3.6)$$

где ρ – плотность воды, г/см^3.

Сцепление связного грунта на сдвиг $c_с$ определяется методом шарового штампа Цытовича [3] либо вычисляется по формуле

$$c_с = 100 \frac{w_{вр}}{\varepsilon^3}, \quad \text{кг/см}^2, \qquad (3.7)$$

где $w_{вр}$ – влажность на границе раскатывания, %;
ε – коэффициент пористости, %.

3.4.4. Зоны преобладающего заиления будут расположены в прибрежных частях русла, там, где $u_м < u_{кр}$; в стрежневой части русла, где $u_м > u_{кр}$, при расчетном расходе будет происходить преобладающий размыв русла, приводящий к его самовосстановлению после небольшого периодического заиления.

Примеры расчета зон залегания загрязненных отложений в русле реки приведены в приложениях 3 – 5.

3.4.5. На поворотах речного русла граница зоны залегания загрязненных отложений у выпуклого берега определяется приближенно по методике, изложенной в п. 3.4.I ÷ 3.4.4.

3.4.6. При наличии крупных сосредоточенных выпусков сточных вод протяженность участка русла $L_м$, подвергающегося загрязнению (длина зоны "шлейфа"), может быть установлена по методике, учитывающей осаждение мелкой взвеси, находящейся в сбросных водах,

$$\frac{L_м}{H} = 3\frac{u}{w_м}, \qquad (3.8)$$

где u – средняя скорость речного потока;

$w_м$ – средневзвешенная гидравлическая крупность частиц мелкой взвеси.

Данная методика может быть использована также при определении длины участка загрязненного русла ниже города или населенного пункта. Пример расчета длины зоны "шлейфа" приведен в приложении 6.

3.5. Пробы грунта, полученные при бурении, следует подвергнуть механическому и химическому (спектрометрическому) анализу для выявления загрязненности органическими примесями, нефтепродуктами, тяжелыми металлами, ядохимикатами, а также для прогнозирования устойчивости грунтов к размыву.

3.6. Пробы из верхнего слоя донных отложений толщиной до 0,5 м подвергаются микробиологическому анализу для определения степени зараженности отложений болезнетворными бактериями.

3.7 Механическому, химическому и микробиологическому анализам подвергаются также пробы песка, выделенные из донных отложений отмывкой и отстаиванием в течение 2 мин, с целью установления возможности его использования в производстве.

3.8. По данным ближайших водомерных постов с учетом влияния боковой приточности определяются следующие гидрологические характеристики водотока.

3.8.1. Наименьший среднемесячный расход года 95%-ной обеспеченности (при отсутствии регулирования стока) либо расход гарантированного санитарного попуска (при регулировании стока).

3.8.2. Интенсивность, продолжительность и обеспеченность паводковых расходов.

3.8.3. Величина мутности и распределение взвешенных наносов по поперечному сечению речного потока в паводки.

3.9. Гидрохимические показатели качества речной воды, сбросных и сточных вод определяются по данным местной СЭС, гидрохимической лаборатории бассейнового управления либо по специальным исследованиям проб воды при гидрологической ситуации, близкой к расчетной.

3.10. Характеристики русловых гряд устанавливаются по рельефу дна, регистрируемому с помощью эхолота на участке русла до его очистки.

На предварительных стадиях проектирования условия возникновения русловых гряд и их характеристики могут определяться по следующей методике.

3.10.1. Русловые гряды возникают в русле и перемещаются вниз по течению в том случае, если частицы донного грунта находятся в состоянии перекатывания, сальтации, а также в режиме полного взвешивания. Характер движения наносов в потоке устанавливается по следующим соотношениям:

наносы не передвигаются

$$\frac{u_{*м}}{w} < \frac{1,3}{C_ш}; \qquad (3.9)$$

частицы перекатываются по дну

$$\frac{u_{*м}}{w} = \frac{2,5}{C_ш}; \qquad (3.10)$$

частицы сальтируют

$$\frac{u_{*м}}{w} > \frac{2,5}{C_ш}; \qquad (3.11)$$

при $\lambda_s < 0,035$ частицы взвешены, если

$$\frac{u_{*м}}{w} > \frac{2,5 \cdot 10^{-4}}{\lambda_s^{2,5}}; \qquad (3.12)$$

при $\lambda_s > 0,035$ частицы взвешены, если

$$\frac{u_{*м}}{w} > 1. \qquad (3.13)$$

В этих соотношениях

$$C_ш = 3,55 \frac{n+1}{n} \left(\frac{d_{гр}}{h_м}\right)^n, \qquad (3.14)$$

где $n = 1,25\sqrt{\lambda_s}$.

3.10.2. При возрастании расхода воды в реке до величины, приводящей к перемещению частиц, начинается образование гряд, которое происходит в течение некоторого периода времени T_c, называемого периодом стабилизации. Он определяется по зависимости

$$T_c = 5 \cdot 10^2 \frac{H}{C_г} \cdot \frac{w}{u_{*м}}, \qquad (3.15)$$

где $\frac{c_г}{u} = 0{,}02\left(\frac{u^2}{gH}\right)^{3/2}$ – скорость перемещения гряд (3.I5,а).

3.I0.3. Параметры стабилизированных русловых гряд рассчитываются по следующим зависимостям:

для высоты гряд

$$\frac{h_г}{H} = \frac{1}{6}\left(1 - \frac{\tau_{кр}}{\tau}\right); \qquad (3.I6)$$

для длины гряд

$$L_г = 25 h_г, \qquad (3.I7)$$

где $\tau_{кр} = \frac{1}{8}\rho\lambda_з u^2_{кр}$ – предельное касательное напряжение;

$\tau = \rho g R i$ – действующее касательное напряжение.

3.I0.4. Параметры гряд до их полной стабилизации (при $T < T_c$) определяются по зависимости

$$\frac{M}{M_{ст}} = 1 - e^{-6\frac{T}{T_c}}, \qquad (3.I8)$$

где M – масштаб гряды (высота или длина) в момент времени T;

$M_{ст}$ – масштаб стабилизировавшихся гряд (определяется по п.3.I0.2).

Пример расчета русловых гряд приведен в приложении 7.

4. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОЧЕРТАНИЙ ОЧИЩЕННОГО РУСЛА И ЕГО БЛАГОУСТРОЙСТВА

4.I. Главный принцип проектирования очистки речного русла от загрязненных отложений состоит в достижении максимального эффекта улучшения качественных показателей речной воды.

4.I.I. Проект очистки русла от загрязненных отложений должен предусматривать предпочтительную очистку большей поверхности речного русла для сокращения площади контакта между загрязненными отложениями и речной водой, а также для максимального удаления верхнего слоя отложений, наиболее активного в химическом и микробиологическом отношении.

4.2. Второй важнейший принцип проектирования очистки русла состоит в назначении таких плановых очертаний русла, формы и размеров его поперечного сечения, которые обеспечивают наименьшее осаждение загрязненных взвесей в межень и наилучшее удаление слоя осадка в паводок.

4.2.I. Плановые очертания речного русла при его очистке и выправлении должны исключать возникновение застойных, теневых и водоворотных зон, возникающих на крутых поворотах русла, в местах его резкого расширения, а также позади различных препятствий и сооружений, возводимых в русле. Наилучшие плановые очертания устанавливаются расчетом [4] с обязательной проверкой выбранных очертаний при помощи гидравлического или аэродинамического моделирования [5].

4.2.2. Форма и размеры поперечного сечения на очищаемых участках русла должны определяться из условий размыва слоя загрязненных донных отложений по всему поперечному сечению русла в паводок 20%-ной обеспеченности.

4.2.3. Размеры поперечного сечения русла при очистке должны назначаться так, чтобы в паводок 20%-ной обеспеченности по всей ширине русла слой загрязненных донных отложений h_g, накапливающийся за 5-летний период между расчетными паводками, размывался

$$h_g = J_0 T_n \left(\frac{U_p}{U_{kp}}\right)^3 \left(\frac{U_p}{U_{kp}} - 1\right), \qquad (4.I)$$

где J_0 – интенсивность размыва при $U = U_{kp}$, J_0 = I см/сут (согласно Ц.Е.Мирцхулаве);

$T_п$ – продолжительность прохождения расчетного паводка, сут;

$U_р$ – скорость течения, обеспечивающая размыв слоя отложений толщиной $h_д$ в паводок 20%-ной обеспеченности;

$U_{кр}$ – критическая скорость для загрязненных донных отложений, определяется по зависимостям, приведенным в п. 3.4.3.

По величине $U_{кр}$ устанавливается необходимая глубина русла на каждой его вертикали

$$h_р \geq \frac{(U_р n_м)^{3/2}}{i^{3/4}}, \qquad (4.2)$$

где $n_м$ – коэффициент шероховатости русла (по Маннингу).

4.2.4. Толщина слоя загрязненных донных отложений $h_д$, накапливающихся за 5-летний период между расчетными паводками, может быть установлена инженерными русловыми изысканиями либо определена на основе балансовых расчетов. Последние должны учитывать поступление наносов с водосборной площади [6] и из других источников загрязнения водотока, а также удаление наносов потоком за счет его транспортирующей способности, которую для рассматриваемых периодов времени можно вычислить по зависимости

$$\rho_{см} = 2\rho\left(\frac{U^2}{gH}\right)^{0,85}, \text{ кг/м}^3, \qquad (4.3)$$

где U – средняя скорость течения в рассматриваемый период времени;

H – средняя глубина потока в тот же момент времени.

Пример расчета дан в приложении 8.

4.2.5. Ширина русла B после расчистки и реконструкции не должна превышать расчетной ширины $B_р$, определяемой из отношения

$$B < B_р = \frac{\sum_{i=1}^{N} U_i \cdot h_i \cdot b_i}{Q_р}, \qquad (4.4)$$

где $Q_р$ – расчетный расход 20%-ной обеспеченности;

b_i – доля ширины русла с постоянной глубиной h_i;

N – общее число участков по ширине русла.

В тех случаях, когда приведенное неравенство не выполняется, при проектировании очистки и реконструкции русла необходимо предусматривать его сужение в чрезмерно расширенных местах. При отсутствии такого сужения на данных участках русла будет происходить интенсивное накопление наносов, приводящее к заилению, что потребует проведения регулярной механической очистки. Пример расчета размеров поперечного сечения при очистке русла дан в приложении 9.

4.2.6. Русло с размерами поперечного сечения, определенными согласно пп. 4.2.2. – 4.2.5, будет находиться в динамическом равновесном состоянии, при котором речной поток периодически промывает русло от накапливающихся загрязненных отложений.

4.2.7. В тех случаях, когда сужение русла засыпкой прибрежных зон (согласно п. 4.2.5) нежелательно ввиду необходимости сохранения ценных элементов природного ландшафта или водного зеркала как элемента городской архитектуры, возможно сужение русла путем отделения его прибрежных зон затопленными продольными дамбами или разделительными стенками, примыкающими к берегу в верховой части сужаемого участка русла. Прибрежные зоны отделяются для того, чтобы уменьшить поступление взвешенных наносов.

4.2.8. Высота и положение в плане раздельной затопленной дамбы (стенки) определяются с учетом реальной транспортирующей способности потока (п. 4.2.4) выделенной зоне русла после ее расчистки таким образом, чтобы мутность на высоте гребня затопленной дамбы (стенки) соответствовала этой транспортирующей способности. При этом отметка гребня раздельной затопленной дамбы должна находиться на 0,5 м ниже уровня зимней межени 95%-ной обеспеченности, что предотвратит повреждение дамбы при ледоходе.

Скоростной режим течения в выделенной зоне уточняется на основе модельных исследований.

4.2.9. Мутность на высоте гребня затопленной дамбы определяется по зависимости

$$\frac{S}{S_g} = \left[\frac{a/h_н\left(1-\frac{z}{h_н}\right)}{z/h_н\left(1-a/h_н\right)}\right]^{\beta}, \qquad (4.5)$$

где $\beta = 2{,}5\frac{w}{u_{*н}}$; $a/h_н = 0{,}05$;

S_g – донная концентрация при $z = a$

В общем случае z - расстояние от дна до точки с концентрацией S. При расчете высоты дамбы принимается, что $S/S_д = 0,1$.

Донная концентрация взвешенных наносов рассчитывается по зависимости

$$S_д = 3 \cdot 10^{-3} \frac{\lambda^4}{1 + \frac{w}{u_{*м}}}. \qquad (4.6)$$

При выбранной отметке гребня затопленной дамбы крупность и концентрация взвеси, поступающей в выделенную зону, будут зависеть также от гранулометрического состава взвешенных наносов в основном русле, от характеристики течения и высоты гребня раздельной дамбы. Пример расчета раздельной затопленной стенки дан в приложении 10.

4.2.10. В особых случаях для полной изоляции выделенной зоны от основного потока в паводок раздельная стенка может быть снабжена дополнительно надувным, плавучим или затапливаемым боковым загряждением, которое устанавливают по гребню стенки.

4.2.11. Продольные размеры выемок загрязненного грунта при очистке русла назначаются на основе натурных изысканий протяженности мест скопления загрязненных грунтов с верховым сопрягающим участком протяженностью не менее 100 м.

4.2.12. При очистке и реконструкции разветвленного речного русла для повышения размывающей и транспортирующей способности речного потока следует предусматривать отсечение второстепенных мелководных проток и рукавов от основного русла и учитывать возможные экологические последствия этого мероприятия.

4.2.13. В тех случаях, когда проектируется очистка русла с одновременным его благоустройством (сооружение набережных, пешеходных тротуаров, береговых полос движения, посадка зеленых насаждений и т.п.) предпочтительно размещать пешеходные тротуары вблизи зеркала воды на пониженных отметках, допуская кратковременное затопление их в паводок. Транспортные магистрали следует располагать на незатапливаемых отметках, соединять их с тротуаром через задернованный откос с деревьями и кустарниками. Площадь поперечного сечения русла до отметок уровня транспортных магистралей должна обеспечить пропуск паводкового расхода 2%-ной обеспеченности. При расчете пропускной способности русла сложного поперечного сечения следует учитывать раз-

личную шероховатость основного русла и береговых откосов. Пример расчета пропускной способности русла дан в приложении II.

4.2.I4. Устройство экрана из чистого песчаного грунта над слоем загрязненных отложений, частично остающихся в русле после очистки, является малоэффективным мероприятием, которое не исключает выхода примесей из загрязненных отложений в речную воду, а лишь несколько изменяет во времени ход процесса диффузии. Устройство такого экрана целесообразно лишь при создании рекреационных зон.

4.2.I5. В местах массового отдыха трудящихся на благоустроенных набережных с целью улучшения кислородного баланса водотока в летние месяцы возможно предусматривать искусственную аэрацию речной воды, например, свободно падающими струями.

5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОЧИСТКИ РУСЛА

5.I. Работы по очистке русла от загрязненных донных отложений могут производиться при помощи землечерпательных и землесосных снарядов, а также струйных взмучивающих устройств.

5.2. Проект выполнения работ по очистке русла во всех случаях должен предусматривать первоочередную очистку притоков, впадающих в водоток на очищаемом участке, и первоочередную очистку верховых участков русла по сравнению с низовыми.

5.3. При использовании землечерпательных снарядов в технологическую схему очистки входят следующие операции.

5.3.I. Разработка грунта землечерпательницами с погрузкой грунта в шаланды.

5.3.2. Транспортирование грунта саморазгружающимися шаландами к месту складирования или вторичной его переработки.

5.3.3. Разгрузка грунта в специальной акватории, отведенной для его складирования или вторичной переработки[I].

5.3.4. Вторичная переработка грунта в акватории землесосными снарядами для подачи на специально отведенные карты намыва[2].

5.3.5. Гидравлическая классификация грунта непосредственно на месте производства работ (для сокращения транспортных расходов и затрат на вторичную переработку грунта) с выделением песчаных фракций и отгрузкой их для производственного использования. Максимально обезвоженные илистые фракции перевозятся шаландами и подаются илососами на карту намыва[3].

I Акватория для складирования или вторичной переработки грунта не должна иметь течений, приводящих к выносу загрязнений за пределы акватории.

2 Возвратные воды с карты намыва должны отводиться в акваторию для вторичной переработки грунта.

3 В связи с имеющимся опытом успешного использования иловатых осадков сточных вод для удобрения сельскохозяйственных угодий под злаковые культуры следует рассмотреть вопрос о возможности применения илов, отделенных от песчаных фракций, в сельскохозяйственном производстве.

5.4. Технологическую схему с землечерпательными снарядами целесообразно использовать для очистки русла в пределах городов и населенных пунктов, выемку проектируют так, чтобы не повредить инженерные коммуникации, находящиеся в русле реки.

5.5. Технологическая схема с землесосными снарядами может быть применена для очистки загрязненных участков рек ниже городов и населенных пунктов при наличии площадей под карты намыва грунта, удаляемого из русла.

5.6. При использовании землесосных снарядов в технологическую схему очистки русла включаются следующие операции.

5.6.1. Разработка грунта с подачей по пульповоду на гидроклассификатор.

5.6.2. Разделение песчаных и илистых фракций на гидроклассификаторе.

5.6.3. Отгрузка песчаных фракций для использования в производственных целях.

5.6.4. Перекачка илистых фракций на карты намыва или сельскохозяйственные угодья.

5.6.5. Мероприятия по необходимому снижению мутности возвратных вод.

5.7. Технологическая схема очистки с применением струйных устройств предусматривает взмучивание загрязненных донных отложений струями в период паводка или специального попуска (при наличии регулирующих сооружений). Илистые фракции из взмученных отложений транспортируются речным потоком, выносятся за пределы сильнозагрязненных участков, распределяются тонким слоем на затопленных участках пойм и в русле реки, активно перерабатываются и очищаются в этих зонах под действием природных физических и органических факторов. Крупные фракции осаждаются на дно вблизи места взмучивания и экранируют русло чистым песком.

5.7.1. В качестве взмучивающих устройств могут быть использованы предусмотренные проектом многоструйные плавучие установки, параметры и режим работы которых определяются с учетом следующих рекомендаций.

5.7.1.1. Многоструйная плавучая взмучивающая установка проектируется на основе плавсредств, оборудованных насосами, и представляет собой трубчатый коллектор с цилиндрическими насадками, присоединенный к насосной установке и закрепленный на плавсредстве таким образом, чтобы оси насадков были перпендикулярны поверхности воды и находились от нее на расстоянии

$L_1 = 20\,d_o$, где d_o - диаметр насадка. В этом случае установка осуществляет одновременную аэрацию речной воды за счет увлечения струями атмосферного воздуха и перемешивания его с водой.

5.7.I.2. Диаметры насадков выбираются от 2 до 8 см с учетом производительности насосной установки и размещаются по длине коллектора с шагом I м. Расстояние между насадками рассчитывается из условия исключения взаимного влияния струй

$$\frac{\mathcal{D}_в}{d_o} = \left(1+0{,}42\,\frac{L}{d_o}\right)\sqrt{1+3\,\frac{u_o}{w_{ст}}\cdot\frac{d_o}{L}}\,, \qquad (5.I)$$

где $\mathcal{D}_в$ - диаметр образующейся под действием струи воронки
u_o - скорость истечения струи;
$w_{ст}$ - гидравлическая крупность стесненного падения частиц грунта;
L - длина струи.

Необходимая скорость истечения струи для размыва слоя отложений определяется по формуле

$$\frac{u_o^2}{g d_{гр}} = \sqrt{\frac{L}{d_{гр}}\left[1{,}21\left(\frac{h_g}{4{,}8 d_o}+1\right)\right]^3}\,. \qquad (5.2)$$

5.7.I.3. Длина трубчатого коллектора выбирается с учетом необходимой ширины обрабатываемой полосы грунта, возможности монтажа коллектора на плавсредстве, удобства маневрирования плавсредством и производительности насосной установки.

5.7.I.4. Расчетный напор $h_к$ в трубчатом коллекторе, определяющий скорость истечения струй, зависит от толщины слоя загрязненных грунтов, глубины водотока и может быть определен по формуле

$$\frac{h_к}{d_{гр}} = 1{,}85\left(\frac{2h_g}{d_o}+1\right)\left(\frac{L}{d_{гр}}\right), \qquad (5.3)$$

где h_g - глубина слоя загрязненных отложений;
L - длина струи.

5.7.I.5. Параметры насосной установки выбираются с учетом необходимости создания расчетного напора и обеспечения необходимого расхода. Пример расчета установки для струйного взмучивания приведен в приложении I2.

5.7.2. Работы по очистке русла с использованием струйных

взмучивающих устройств выполняются, начиная с верховых участков русла вниз по течению одновременно по обоим берегам реки.

5.7.3. В тех случаях, когда значительная ширина загрязненной полосы вдоль каждого берега не позволяет осуществить взмучивание одной плавучей установкой, производится одновременная работа необходимого числа взмучивающих установок вдоль каждого берега.

5.7.4. Производительность струйных установок по взвеси (т.е. скорость их передвижения вдоль русла) лимитируется предельно допустимой мутностью водного потока, величиной расхода в паводок или в период попуска, а также толщиной слоя загрязненных грунтов и определяется по следующей методике.

5.7.4.I. Предельно допустимая мутность речного потока за период паводка или попуска обусловлена: предельной транспортирующей способностью потока по мелкой взвеси, которая определяется по формуле

$$S_T = \frac{\Delta\rho}{\rho_T} = 3 \cdot 10^{-2} \left(\frac{U^2}{gH}\right)^{0,85}, \qquad (5.4)$$

где $\Delta\rho = \rho_{см} - \rho$;

ограничениями на мутность и загрязненность химическими примесями забираемой воды на действующих водозаборах в пределах зоны повышенной мутности речного потока в результате производства работ по очистке русла;

требованиями рыбозащиты и охраны нерестилищ от занесения загрязненными илами.

5.7.4.2. Устанавливается количество грунта, переносимого речным потоком при паводковом расходе или попуске в единицу времени при $S = S_{тр}$,

$$q_T = Q_p \cdot S_{тр}. \qquad (5.5)$$

5.7.4.3. Определяется количество илистых примесей w_T в слое загрязненных донных отложений толщиной h_g на единицу длины русла

$$w_T = h_g L_1 \varepsilon_n \varepsilon_u (B - B_p), \qquad (5.6)$$

где L_1 - единица длины русла (I м);

$\varepsilon_п$ – пористость загрязненных донных отложений в естественном состоянии;

$\varepsilon_и$ – объемное содержание илистых фракций.

5.7.4.4. Устанавливается время струйной обработки загрязненного грунта на единице длины русла по условию транспорта взвеси речным потоком

$$t_1 = \frac{w_т}{q_т} = \frac{h_д (B - B_р) L_1 \varepsilon_п \varepsilon_и}{S_{тр} U B H} = \frac{h_д}{H} \cdot \frac{L_1 \varepsilon_п \varepsilon_и (B - B_р)}{U B S_{тр}} . \quad (5.7)$$

5.7.4.5. Определяется скорость движения взмучивающих устройств

$$U_{в.у.} = \frac{H}{h_д} \cdot \frac{U S_{тр}}{\varepsilon_п \varepsilon_и} \cdot \frac{B}{B - B_р} . \quad (5.8)$$

Пример расчета производительности струйных взмучивающих установок при очистке русла приведен в приложении 13.

5.7.4.6. Длина зоны повышенной мутности речного потока ниже места проведения работ может быть установлена по методике, изложенной в п. 3.4.6.

5.7.5. При значительной неоднородности ручного русла в плановой геометрии и речного дна в вертикальных отметках целесообразно рассмотреть возможность использования комбинированной технологической схемы – струйного взмучивания и локальной механической очистки в чрезмерно расширенных и переуглубленных местах русла.

6. ВОДООХРАННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАБОТ ПО ОЧИСТКЕ РУСЛА

6.1. Проект очистки русла от загрязненных донных отложений должен предусматривать необходимые мероприятия по охране речных вод от загрязнения в период производства работ.

6.2. Загрязнение речной воды при очистке русла может происходить как в результате выполнения технологического цикла (разрыхление и перемещение объемов грунта в водной среде, утечка илистых фракций при погрузке грунта и его транспортировании, недостаточное осветление возвратных вод и т.п.), так и в результате длительной работы комплекса механизмов на водном объекте (разлив топлива при заправке, утечка смазочных материалов).

6.3. Состав водоохранных мероприятий должен включать комплекс организационно-технических мер, исключающих непроизводительные потери нефтепродуктов и попадание их на водную поверхность.

6.4. Чтобы предотвратить долговременное загрязнение водотока нефтепродуктами при выделении их из донных отложений на месте производства работ, необходимо устройство плавучего ограждения с полузатопленной забральной стенкой. Акваторию в пределах ограждения следует регулярно очищать с помощью плавучего нефтесборника.

6.5. Для устранения утечек мелких фракций донного материала при транспорте его в саморазгружающихся шаландах нужно усовершенствовать уплотнения и организовать постоянный эксплуатационный надзор за их состоянием.

6.6. При перекачке загрязненных грунтов и илов на карты намыва следует предусмотреть эффективное отстаивание и контроль мутности возвратных вод для исключения загрязнения водотока возвратными водами.

7. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ПОВТОРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОЧИЩЕННЫХ УЧАСТКОВ

7.I. Важнейшим мероприятием по предотвращению повторного загрязнения очищенных участков русла является полное прекращение сбросов в очищенный участок и в зону длиной 30 км выше него неочищенных коммунальных и промышленных сточных вод.

7.2. Проект очистки русла должен включать в качестве основного мероприятия по предотвращению повторного загрязнения перехват и очистку поверхностного стока с водосборной площади в пределах очищенного участка русла, особенно в пределах городов, населенных пунктов и промплощадок.

7.2.I. Перехват и очистку поверхностного стока от взвешенных веществ, нефтепродуктов и других загрязнений целесообразно производить в специально сооружаемых прудах-отстойниках с использованием активного ила и струйной аэрации водных масс.

7.3. Для предотвращения повторного загрязнения очищенных участков русла следует разработать мероприятия по улучшению качественного состояния вод притоков, впадающих в водоток в пределах очищенного участка и выше него на расстоянии до I0 км.

7.3.I. Для улучшения качества воды притоков малой водности необходимо предусмотреть мероприятия по прекращению сброса неочищенных сточных вод. Очистку притоков малой водности от взвешенных веществ и нефтепродуктов можно производить в специальных прудах-отстойниках, сооружаемых на трассе водотока.

7.3.2. На устьевых участках притоков необходимо устройство наносоулавливающих порогов, а также запаней с затопленной забральной стенкой для задерживания плавающего мусора и нефтепродуктов.

7.3.3. Следует предусмотреть регулярное удаление осадков и нефтепродуктов из прудов-отстойников, запаней и наносоудерживающих сооружений в процессе их эксплуатации и обеспечить постоянный контроль бассейнового управления за работой этих сооружений.

7.4. При возникновении новых источников загрязнения после очистки русла либо при неполном и несвоевременном осуществлении комплекса мероприятий, предусмотренных п. 7.I, прогноз загрязнения очищенных участков может производиться по зависимости

$$z_g = z_0 + 2S_0 w t_3 e^{-\frac{w}{u_{зм}} \cdot \frac{x}{h_м}}, \qquad (7.I)$$

где z_0 - отметка дна после очистки при $t = 0$ (до начала заиления);

$t_з$ - продолжительность процесса заиления;

S_0 - мутность речного потока ниже выпусков в створе полного перемешивания сточной и речной воды.

7.4.I. Результирующие деформации дна за время t, включающее периоды заиления $t_з$ и периоды размыва $t_р$, определяются по зависимости

$$z_д = z_0 + 2S_0 w \sqrt{t_з}\, e^{-\frac{w}{u_{ср}} \cdot \frac{x}{h_м}} - \mathcal{J} t_р , \qquad (7.2)$$

где $\mathcal{J}$ - интенсивность размыва,

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}_0 \left(\frac{u_р}{u_{кр}}\right)^3 \left(\frac{u_р}{u_{кр}} - 1\right) . \qquad (7.3)$$

Здесь $u_р$ - скорость течения в водотоке в периоды размыва.

Результаты расчетов по прогнозу заиления следует проверить гидравлическим моделированием. Пример расчета заиления русла после его очистки приведен в приложении I4.

8. ОСНОВЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РУСЛОВОГО ПРОЦЕССА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОЧИСТКИ РУСЛА

8.I. Гидравлическое моделирование руслового процесса при проектировании очистки русла от загрязненных донных отложений производится для проверки эффективности разрабатываемых проектных решений с точки зрения режима транспорта наносов и зано - симости очищенных участков русла.

8.2. В связи со значительной протяженностью очищаемых участков гидравлическое моделирование руслового процесса производится на фрагментарных размываемых моделях.

8.3. Исходные очертания размываемой фрагментарной модели выполняются геометрически подобными проектному очертанию очи - щенного участка русла.

8.4. Основное условие подобия транспорта наносов на модели и в натуре имеет вид

$$\frac{u_к}{w} = idem , \qquad (8.I)$$

где $u_к$ - скорость на вершине выступов шероховатости;

w - гидравлическая крупность частиц.

Это условие, записанное как

$$\frac{u_{к_м}}{u_{к_н}} = \frac{w_м}{w_н} \qquad (8.2)$$

(индексы $м$ и $н$ относятся к модели и натуре соответст - венно), показывает, что для снижения скоростей на модели необ - ходимо уменьшить гидравлическую крупность модельного материала.

8.4.I. В связи с тем, что при крупности модельного материа - ла $d_м < 0{,}5$ мм становятся заметными силы сцепления, иска - жающие подобие модели и натуры, значительное уменьшение гид - равлической крупности $w_м$ может быть достигнуто лишь пу - тем подбора модельного зернистого материала, имеющего плотность значительно меньшую плотности песка. Таким образом, по произ - водственным условиям гидравлическая крупность модельного мате - риала может считаться заданной.

8.4.2. Геометрический масштаб модели $L_м$ принимается, исходя из условий размещения модели в лаборатории и удобства выполнения необходимых измерений.

8.4.3. При выбранном линейном масштабе модели и заданной гидравлической крупности частиц модельного грунта коэффициент гидравлического сопротивления модельного русла вычисляется по формуле

$$\lambda_м = 0{,}11\left(\frac{d_м}{4H_м}\right)^{1/4}. \qquad (8.3)$$

Коэффициент гидравлического сопротивления очищенного натурного русла устанавливается по этой же зависимости с подстановкой в нее глубины и диаметра частиц натурного русла.

8.4.4. При выбранном линейном масштабе модели известной гидравлической крупности частиц модельного и натурного материала средняя скорость течения на модели определяется по соотношению

$$\frac{\bar{u}_м}{\bar{u}_н} = \frac{w_м}{w_н}\sqrt{\frac{\lambda_н}{\lambda_м}}. \qquad (8.4)$$

8.4.5. Установленные таким образом параметры гидравлической модели проверяются по условию турбулентного течения

$$\frac{u_м H_м}{\nu} > 580. \qquad (8.5)$$

Пример расчета параметров гидравлической модели приведен в приложении I5.

РАСЧЕТ НЕОБХОДИМОСТИ ОЧИСТКИ РУСЛА ОТ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКАХ ПОСТУПЛЕНИЯ ПРИМЕСИ

ПРИМЕР. Определить необходимость очистки русла при следующих условиях: водоток малой водности, длина загрязненного участка $L_з$ = 10 км. Ширина реки B = 50, глубина водотока H = 2 м, наименьший среднемесячный расход 95%-ной обеспеченности Q_{95} = 75 м^3/с. Расчетный створ находится в конце загрязненного участка. Установлено, что в реку поступают загрязняющие примеси из следующих источников: выше загрязненного участка сбросные воды от промпредприятий в количестве Q_1 = 7 м^3/с содержат тетраэтилолово (ПДК 0,0002 мг/л) C_I = 0,08 и хлорбензол (ПДК 0,02 мг/л) C_2 = I мг/л; в пределах загрязненного участка производится сброс сточных вод в количестве Q_2 = I0 м^3/с с содержанием циклогексанола (ПДК 0,5 мг/л) C_3 = 0,6 мг/л; в донных грунтах содержатся молибден (ПДК 0,5 мг/л) C_4 = I0Q , никель (ПДК 0,I мг/л) C_5 = 40, тетраэтилолово C_{TI} = 23 , хлорбензол C_{T2} = I50 мг/л. Примеси относятся к санитарно-токсическому показателю вредности.

РЕШЕНИЕ

Определяем среднюю скорость речного потока:

$$u = \frac{Q_{95}}{B \cdot H} = \frac{75}{50 \cdot 2} = 0{,}75 \text{ м/с}. \qquad (\text{П.I.I})$$

Рассчитываем время контакта воды с загрязненными донными грунтами:

$$t = \frac{L_з}{u} = \frac{10 \cdot 10^3}{0{,}75} = 13333{,}33 \text{ с} = 3{,}7 \text{ ч}. \qquad (\text{П.I.2})$$

Находим повышение концентрации примеси в воде за счет поступления из донных грунтов

молибдена

$$C_{ц4} = C_4 \frac{2}{H} \sqrt{\frac{D_{гм} \cdot t}{\pi}} = 100 \frac{2}{2} \sqrt{\frac{0{,}017 \cdot 10^{-4} \cdot 3{,}7}{3{,}14}} = 0{,}14 \text{ мг/л}; \qquad (\text{П.I.3})$$

$$\frac{C_{ц4}}{ПДК} = \frac{0{,}14}{0{,}5} = 0{,}28 < 1; \qquad (\text{П.I.4})$$

никеля

$$C_{q6} = C_5 \frac{2}{H}\sqrt{\frac{D_{гм}\cdot t}{\pi}} = 40\frac{2}{2}\sqrt{\frac{0{,}017\cdot 10^{-4}\cdot 3{,}7}{3{,}14}} = 0{,}06\ мг/л; \quad (П.I.5)$$

$$\frac{C_{q6}}{ПДК} = \frac{0{,}06}{0{,}1} = 0{,}6 < 1; \quad (П.I.6)$$

тетраэтилолова

$$C_{q1} = C_{r1}\frac{2}{H}\sqrt{\frac{D_{гм}\cdot t}{\pi}} = 1{,}3\frac{2}{2}\sqrt{\frac{0{,}017\cdot 10^{-4}\cdot 3{,}7}{3{,}14}} = 0{,}002\ мг/л; \quad (П.I.7)$$

$$\frac{C_{q1}}{ПДК} = \frac{0{,}002}{0{,}0002} = 10 > 1; \quad (П.I.8)$$

хлорбензола

$$C_{q2} = C_{r2}\frac{2}{H}\sqrt{\frac{D_{гм}\cdot t}{\pi}} = 15\frac{2}{2}\sqrt{\frac{0{,}017\cdot 10^{-4}\cdot 3{,}7}{3{,}14}} = 0{,}021\ мг/л; \quad (П.I.9)$$

$$\frac{C_{q2}}{ПДК} = \frac{0{,}021}{0{,}02} = 1{,}1 > 1. \quad (П.I.10)$$

Определяем концентрацию примесей, поступивших со сбросными водами из донных грунтов в расчетном створе.

Концентрация тетраэтилолова перед загрязненным участком:

$$C_{10} = \frac{C_1\cdot Q_1}{Q_{25}+Q_1} = \frac{8{,}8\cdot 7}{75+7} = 6{,}8\cdot 10^{-3}\ мг/л; \quad (П.I.11)$$

$$\frac{C_{10}}{ПДК} = \frac{6{,}8\cdot 10^{-3}}{0{,}2\cdot 10^{-3}} = 34{,}1 > 1. \quad (П.I.12)$$

Концентрация тетраэтилолова в конце участка:

$$C_{1к} = C_{10} + C_{q1} = 6{,}8\cdot 10^{-3} + 2\cdot 10^{-3} = 8{,}8\cdot 10^{-3}\ мг/л; \quad (П.I.13)$$

$$\frac{C_{1к}}{ПДК} = 34{,}1 + 10 = 44{,}1 > 1. \quad (П.I.14)$$

Содержание хлорбензола в реке в конце расчетного участка:

$$C_{20} = \frac{Q_1\cdot C_2}{Q_{25}+Q_1} = \frac{7\cdot 1}{75+7} = 85\cdot 10^{-3}\ мг/л; \quad (П.I.15)$$

$$\frac{C_{20}}{ПДК} = \frac{85 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-2}} = 4{,}3 > 1; \qquad (П.I.16)$$

$$C_{2к} = C_{20} + C_{q_2} = 85 \cdot 10^{-3} + 0{,}021 = 0{,}11 \text{ мг/л}; \qquad (П.I.17)$$

$$\frac{C_{2к}}{ПДК} = 4{,}3 + 1{,}1 = 5{,}4 > 1. \qquad (П.I.18)$$

Вычисляем содержание циклогексанола в конце загрязненного участка:

$$C_{30} = \frac{Q_2 \cdot C_3}{Q_{25} + Q_1 + Q_2} = \frac{10 \cdot 0{,}6}{75 + 7 + 10} = 6{,}5 \cdot 10^{-2} \text{ мг/л}; \qquad (П.I.19)$$

$$C_{30} = C_{3к}; \qquad (П.I.20)$$

$$\frac{C_{3к}}{ПДК_3} = \frac{65 \cdot 10^{-3}}{0{,}5} = 1{,}3 \cdot 10^{-1} < 1. \qquad (П.I.21)$$

Определяем суммарный эффект влияния примесей на качество воды:

$$\Sigma = \frac{C_i}{ПДК_i} \gtrless 1; \qquad (П.I.22)$$

$$\frac{C_{1к}}{ПДК_1} + \frac{C_{2к}}{ПДК_2} + \frac{C_{3к}}{ПДК_3} + \frac{C_{q_1}}{ПДК_{q_1}} + \frac{C_{q_5}}{ПДК_{q_5}} =$$

$$= (34{,}1 + 10) + (4{,}3 + 1{,}1) + 0{,}13 + 0{,}28 + 0{,}6 > 1. \qquad (П.I.23)$$

Анализ полученных результатов показывает, что в данном случае ухудшение качества воды в реке происходит как за счет поступления тетраэтилолова и хлорбензола со сбросными водами (на 38,4 ПДК), так и за счет поступления значительного количества примесей из донных отложений (на I2,II ПДК). Следовательно, для достижения ПДК необходимо исключить сброс загрязненных сточных вод и после этого очистить русло.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

РАСЧЕТ НЕОБХОДИМОСТИ ОЧИСТКИ РУСЛА ОТ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

ПРИМЕР. Определить необходимость очистки участка русла реки от загрязненных донных отложений при следующих условиях: водоток средней водности, длина загрязненного участка $L_з$ = 30 км, ширина реки B = 100, глубина водотока H = 3 м, наименьший среднемесячный расход 95%-ной обеспеченности Q_{95} = 120 м^3/с. Расчетный створ находится в конце загрязненного участка. Характер и концентрация примесей, обнаруженных в поровой воде донных грунтов: бензол $C_{г_1}$ = 800; бета-нафтол $C_{г_2}$ = 700 мг/л. Примеси относятся к санитарно-токсикологическому показателю вредности. Фоновая концентрация примесей в речной воде выше загрязненного участка: бензол $C_{ф_1}$ = 0,005, бета-нафтол $C_{ф_2}$ = 0,004, бром $C_{ф_3}$ = 0,01 мг/л.

В пределах загрязненного участка производится сброс сточных вод в количестве Q_2 = 3 м^3/с с содержанием анилина C_2 = 0,02 мг/л.

РЕШЕНИЕ

Рассчитываем среднюю скорость речного потока:

$$u = \frac{Q_{95}}{B \cdot H} = \frac{120}{100 \cdot 3} = 0{,}4 \text{ м/с}. \qquad (П.2.1)$$

Определяем время контакта воды с загрязненными донными отложениями:

$$t = \frac{L_з}{u} = \frac{30 \cdot 10^3}{0{,}4 \cdot 3600} = 20{,}83 \text{ ч}. \qquad (П.2.2.)$$

Находим повышение концентрации примеси вследствие поступления ее из донных отложений:

бензол

$$C_{з_1} = C_{г_1} \frac{2}{H} \sqrt{\frac{D_{гм} \cdot t}{\pi}} = 800 \frac{2}{3} \sqrt{\frac{0{,}017 \cdot 10^{-4} \cdot 20{,}83}{3{,}14}} = 18 \text{ мг/л}; \qquad (П.2.3)$$

β - нафтол

$$C_{з_2} = C_{г_2} \frac{2}{H} \sqrt{\frac{D_{гм} \cdot t}{\pi}} = 700 \frac{2}{3} \sqrt{\frac{0{,}017 \cdot 10^{-4} \cdot 20{,}83}{3{,}14}} = 1{,}6 \text{ мг/л}. \qquad (П.2.4)$$

Определяем эффект воздействия сточных вод и загрязненного русла:

бензол

$$\frac{C_{q_1}}{ПДК_1} = \frac{1,8}{0,5} = 3,6; \qquad (П.2.5)$$

$$\frac{C_{ф_1}}{ПДК_1} = \frac{0,005}{0,5} = 0,01; \qquad (П.2.6)$$

β – нафтол

$$\frac{C_{q_2}}{ПДК_2} = \frac{1,6}{0,4} = 4; \qquad (П.2.7)$$

$$\frac{C_{ф_2}}{ПДК_2} = \frac{0,004}{0,4} = 0,01; \qquad (П.2.8)$$

бром

$$\frac{C_{ф_3}}{ПДК_3} = \frac{0,01}{0,2} = 0,2; \qquad (П.2.9)$$

анилин

$$\frac{C_a}{ПДК_a} = \frac{4,9 \cdot 10^{-4}}{0,1} = 4,9 \cdot 10^{-3} < 1; \qquad (П.2.10)$$

$$C_a = C_2 \frac{Q_2}{Q_{95} + Q_2} = 0,02 \frac{3}{120+3} = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ мг/л}. \qquad (П.2.11)$$

Вычисляем суммарный эффект воздействия сточных вод и загрязненного русла на качество воды в конце участка:

$$\sum \frac{C_i}{ПДК_i} \geq 1; \qquad (П.2.12)$$

$$\frac{C_{q_1}}{ПДК_1} + \frac{C_{ф_1}}{ПДК_1} + \frac{C_{q_2}}{ПДК_2} + \frac{C_{ф_2}}{ПДК_2} + \frac{C_{ф_3}}{ПДК_3} + \frac{C_a}{ПДК_a} =$$

$$= 3,6 + 0,01 + 4 + 0,01 + 0,2 + 0,00049 > 1. \qquad (П.2.13)$$

В данном случае наибольшее влияние на качество воды оказывают бензол и β – нафтол, поступающие в речную воду из донных отложений. Расчеты показывают, что концентрация примесей

за счет поступления их из донных отложений значительно превышает ПДК. В этом случае для улучшения качества воды необходимо очистить русло от загрязненных отложений.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

РАСЧЕТ ШИРИНЫ ЗОН ЗАЛЕГАНИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРЯМОЛИНЕЙНОМ УЧАСТКЕ РУСЛА

ПРИМЕР. Определить ширину зон залегания загрязненных донных отложений при следующих данных. Ширина основного русла B = 150 м, средняя глубина водотока H = 4 и 3,5 м, уклон русла i = 0,0001; 0,00001; 0,00005.

Донный грунт несвязный, средняя крупность частиц $d_{гр}$ = 1 мм. Паводковый расход 20%-ной обеспеченности Q_p = 300 м^3/с. Коэффициент шероховатости русла после его очистки $n_м$ = 0,025.

Поперечное сечение речного русла на рассматриваемом участке приведено на рис. П.3.1, для двух значений H.

РЕШЕНИЕ

Расчет ширины зон залегания загрязненных отложений проводим в соответствии с рекомендациями раздела 3.

В условиях паводка 20%-ной обеспеченности определяем значение местной динамической скорости по оси потока с использованием формулы (3.1):

$$u_{*м} = \sqrt{g h_м i}. \qquad (П.3.1)$$

Находим значение средней скорости по оси потока из формулы (3.2):

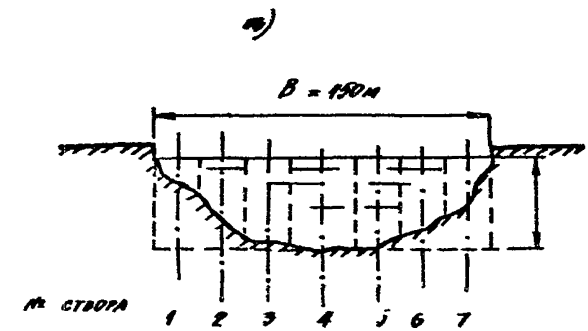
$$u_м = \frac{\sqrt{8}}{\sqrt{\lambda}} \sqrt{g h_м i}, \qquad (П.3.2)$$

где $$\lambda = \frac{8g}{C^2}; \quad C = \frac{1}{n_м} h_м^{1/6}. \qquad (П.3.3)$$

Определяем значение критической скорости потока, отвечающей условию предельной устойчивости грунта к размыву, по формуле (3.4), так как донный грунт несвязный, крупнозернистый, диаметр зерен $d_{гр} >$ 0,5 мм,

$$\frac{u_{кр}}{\omega} = \frac{0,45}{\sqrt{\lambda_в}}, \qquad (П.3.4)$$

где $$\omega = 0,1 g d_{гр} \approx 100 d_{гр}, \text{ см/с (при } d \text{ – в см)}; \qquad (П.3.5)$$



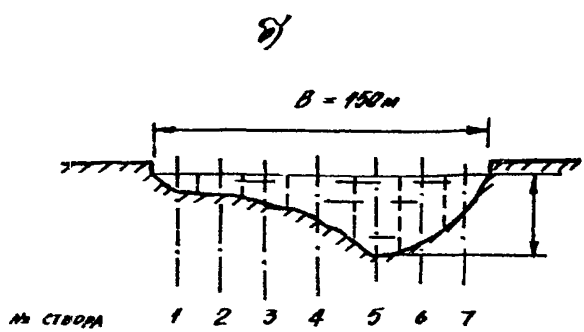


Рис.II.3.I. Поперечное сечение речного русла:
а) при H = 4 м, i = 0,0001; 0,00001; 0,00005;
б) при H = 3,5 м, i = 0,00005.

$$\lambda_s = 0{,}11\left(\frac{d}{4R}\right)^{0{,}25}. \qquad (П.3.6)$$

Для установления зоны залегания загрязненных донных отложений, подверженных размыву при пропуске заданного паводкового расхода Q_p = 300 м^3/с, расчет следует произвести по всей ширине русла. Поэтому условно разбиваем поперечное сечение русла на несколько створов (см. рис. П.3.I) и выполняем расчет для каждого из них. Результаты приведены для двух поперечных сечений русла и нескольких вариантов его уклонов (табл. П.3.I ÷ П.3.4).

Для определения ширины зоны заиления, где будет происходить размыв, проверяем условие

$$u_м > u_{кр} \quad \text{или} \quad u_м < u_{кр}.$$

По результатам расчета получено:

при H = 4 м и i = 0,0001 во всех створах, т.е. по всей ширине русла, соблюдается условие $u_м > u_{кр}$. Это означает, что по всей ширине русла при расчетном паводковом расходе 20%-ной обеспеченности Q_p = 300 м^3/с будет происходить преобладающий размыв русла;

при H = 4 м и i = 0,00001 во всех створах соблюдается условие $u_м < u_{кр}$, т.е. по всей ширине русла при пропуске паводкового расхода будут сохраняться зоны преобладающего заиления;

при H = 4 м и i = 0,00005 в створе I соблюдается условие $u_м < u_{кр}$, а в остальных створах (2 ÷ 7) $u_м > u_{кр}$. Следовательно, зона преобладающего заиления будет располагаться в прибрежной части русла (створ I), а в другой части (створы 2 ÷ 7) будет происходить преобладающий размыв, приводящий к самовосстановлению русла;

при H = 3,5 м и i = 0,00005 в створах I, 2, 3, 7 $u_м < u_{кр}$, т.е. эти зоны подвержены заилению, в створах 4 – 6 $u_м > u_{кр}$, следовательно, на этих участках русла при пропуске паводкового расхода будет происходить основной размыв русла.

Таблица II.3.I

РАСЧЕТ ДЛЯ i = 0,000I (вариант к рис. II.3.I,а)

№ створа	$h_м$, м	$v_{*м}$, м/с	$C_м$, $м^{1/2}/с$	λ	$v_м$, м/с	w	λ_s	$v_{кр}$, м/с
I	I	0,03I	40	0,049	0,396	I0 см/с =	0,0I38	0,383
2	2,5	0,05	46,6	0,036	0,745	= 0,I м/с	0,0II	0,43
3	3,5	0,059	49,3	0,032	0,687		0,0I0I	0,45
4	4	0,063	50,42	0,03I	I,0I2		0,0098	0,45
5	3,8	0,06I	50	0,03I	0,98		0,0099	0,45
6	3	0,054	48,06	0,034	0,828		0,0I05	0,44
7	2	0,044	44,9I	0,039	0,63		0,0II6	0,4I8

Таблица П.3.2

РАСЧЕТ ДЛЯ i = 0,00001 (вариант к рис. П.3.1,а)

№ створа	$h_м$, м	$u_{ж.н}$, м/с	$C_м$, $м^{1/2}/с$	λ	$u_м$, м/с	w	λ_s	$u_{кр}$, м/с
1	1	0,0099	40	0,049	0,126	10 см/с =	0,014	0,383
2	2,5	0,0156	46,61	0,036	0,232	= 0,1 м/с	0,011	0,43
3	3,5	0,0185	49,31	0,032	0,292		0,0101	0,45
4	4	0,0196	50,42	0,031	0,316		0,0098	0,45
5	3,8	0,0193	50	0,031	0,310		0,0099	0,45
6	3	0,0172	48,06	0,034	0,263		0,0105	0,44
7	2	0,014	44,91	0,039	0,2		0,0116	0,418

Таблица П.3.3

РАСЧЕТ ДЛЯ $i = 0{,}00005$ (вариант к рис. П.3.I,а)

№ створа	$h_м$, м	$U_{*м}$, м/с	$C_м$, $м^{1/2}/с$	λ	$U_м$, м/с	w	λ_s	$U_{кр}$, м/с
I	I	0,022	40	0,049	0,28I	I0 см/с =	0,0I4	0,383
2	2,5	0,035	46,6I	0,036	0,522	= 0,I м/с	0,0II	0,43
3	3,5	0,04I4	49,3I	0,032	0,654		0,0I0I	0,45
4	4	0,0443	50,42	0,03I	0,7I2		0,0098	0,45
5	3,8	0,034	50	0,03I	0,69I		0,0099	0,45
6	3	0,038	48,06	0,034	0,583		0,0I05	0,44
7	2	0,03I3	44,9I	0,039	0,448		0,0II6	0,4I8

Таблица П.3.4

РАСЧЕТ ДЛЯ i = 0,00005 (вариант к рис. П.3.I,б)

№ створа	$h_м$, м	$u_{*м}$, м/с	$C_м$, $м^{1/2}/с$	λ	$u_м$, м/с	w	λ_s	$u_{кр}$, м/с
I	0,5	0,0I57	35,63	0,06I8	0,I79	I0 см/с =	0,0I64	0,35I
2	0,75	0,0I92	38,I2	0,054	0,234	= 0,I м/с	0,0I49	0,369
3	I	0,022I	40	0,049I	0,282		0,0I39	0,38I
4	2	0,03I3	44,9I	0,0389	0,449		0,0II6	0,4I8
5	3,5	0,4I4	49,3I	0,0323	0,65I		0,0I0I	0,448
6	3	0,0384	48,06	0,034	0,589		0,0I05	0,439
7	I,5	0,027I	42,8	0,0428	0,37		0,0I29	0,396

РАСЧЕТ ШИРИНЫ ЗОН ЗАЛЕГАНИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРЯМОЛИНЕЙНОМ УЧАСТКЕ РУСЛА

ПРИМЕР. Определить ширину зон залегания загрязненных донных отложений. Ширина основного русла B = 150 , средняя глубина водотока H = 4 м, уклон русла i = 0,0001. Донный грунт несвязный, средняя крупность частиц $d_{гр}$ = 0,25 мм. Поперечное сечение русла для рассматриваемого участка приведено на рис. П.3.1,а.

РЕШЕНИЕ

Решение данного примера проводится аналогично примеру приложения П.3. Однако так как средняя крупность частиц несвязного донного грунта $d_{гр} < 0{,}5$ мм, то критическая скорость потока, отвечающая условию предельной устойчивости грунта к размыву, определяется по формуле (3.5)

$$u_{кр} = \frac{0{,}03}{\sqrt{\lambda_в}\left(1 - 1{,}25\sqrt{\lambda_в}\right)}. \qquad (П.4.1)$$

Результаты расчета приведены в табл. П.4.1.

Для определения ширины зоны заиления проверяем выполнение условия $u_м > u_{кр}$ или $u_м < u_{кр}$.

Расчетом получено, что во всех створах, т.е. по всей ширине русла, $u_м > u_{кр}$. Это означает, что зоны преобладающего размыва будут располагаться по всей ширине русла.

Таблица П.4.I

РАСЧЕТ ДЛЯ $i = 0{,}000I$

№ створа	$h_м$, м	$u_{*м}$ м/с	$C_м$, $м^{1/2}/с$	λ	$u_м$, м/с	λ_g	$u_{кр}$, м/с
I	I	0,03I	40	0,049	0,396	0,0I38	0,299
2	2,5	0,05	46,6	0,036	0,745	0,0II	0,329
3	3,5	0,059	49,3	0,032	0,687	0,0I0I	0,34I
4	4	0,063	50,42	0,03I	I,0I2	0,0098	0, 345
5	3,8	0,06I	50,0	0,03I	0,98	0,0099	0,344
6	3	0,054	48,06	0,034	0,828	0,0I05	0,336
7	2	0,044	44,9I	0,039	0,63	0,0II6	0,322

РАСЧЕТ ШИРИНЫ ЗОН ЗАЛЕГАНИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПРЯМОЛИНЕЙНОМ УЧАСТКЕ РУСЛА

ПРИМЕР. Определить ширину зон залегания загрязненных донных отложений. Ширина основного русла B = 150 , средняя глубина водотока H = 4 м, уклон русла i = 0,0005. Донный грунт связный ($d_{гр}$ = 0,004 м), имеющий влажность на границе раскатывания $w_{вр}$ = 20% и коэффициент пористости ε = 70%. Поперечное сечение русла для рассматриваемого участка приведено на рис. П.3.I,а.

РЕШЕНИЕ

Решение данного примера проводится аналогично примеру приложения П.3. Однако так как донный грунт связный, то критическая скорость потока, отвечающая условию предельной устойчивости грунта к размыву, определяется по формуле (3.6)

$$u_{кр} = 0,07\sqrt{\frac{c_б}{\rho \lambda_б}}, \text{ см/с}, \qquad (П.5.I)$$

где ρ – плотность воды, г/см^3;

$c_б = 100\frac{w_{вр}^4}{\varepsilon^3}$ – оцепление связного грунта на сдвиг, г/см^2, при ε и $w_{вр}$, выраженных в долях объема.

Результаты расчета приведены в табл. П.5.I.

Проверяем выполнение условия $u_м > u_{кр}$ или $u_м < u_{кр}$. Расчетом получено, что по всему поперечному сечению русла $u_м < u_{кр}$, т.е. зона преобладающего заиления будет располагаться по всему его поперечному сечению.

Таблица II.5.I

РАСЧЕТ ДЛЯ $i = 0{,}0005$

№ створа	$h_м$, м	$u_{ж.м}$, м/с	$C_м$, $м^{1/2}/с$	λ	$u_м$, м/с	λ_s	$u_{кр}$, м/с	$C_б$, $кг/см^2$
I	I	0,07	40	0,049	0,894	0,0I96	3,38	0,466
2	2,5	0,III	46,6I	0,036	I,654	0,0I56	3,79	
3	3,5	0,I3I	49,3I	0,032	2,07I	0,0I43	3,96	
4	4	0,I4	50,42	0,03I	2,249	0,0I38	4,03	
5	3,8	0,I365	50	0,03I	2,I92	0,0I4	3,99	
6	3	0,I2I	48,06	0,034	I,856	0,0I49	3,88	
7	2	0,099	44,9I	0,039	I,4I8	0,0I64	3,69	

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

РАСЧЕТ ЗАГРЯЗНЕННОГО УЧАСТКА РУСЛА НИЖЕ ГОРОДА

ПРИМЕР. Определить длину загрязненного участка русла ниже города при следующих данных. Средняя глубина речного потока H = 4 м, средняя скорость речного потока u = 0,58 м/с. Сбросные воды содержат частицы взвеси крупностью $d_{гр}$ = 0,I; 0,05; 0,0I мм. Гидравлическая крупность данных частиц соответственно равна $w_м$ = 0,59; 0,2; 0,079 см/с.

РЕШЕНИЕ

Длину загрязненного участка русла находим по формуле (3.8):

$$\frac{L_м}{H} = 3\frac{u}{w_м}; \qquad (П.6.I)$$

$$L_м = 3H\frac{u}{w_м}. \qquad (П.6.2)$$

Расчет проводим для трех случаев:

$d_{гр}$ = 0,I мм

$$L_м = 3H\frac{u}{w_м} = 3\cdot 4\frac{0,58}{0,0059} = 1179\ м \approx 1\ км; \qquad (П.6.3)$$

$d_{гр}$ = 0,05 мм

$$L_м = 3\cdot 4\frac{0,58}{0,002} = 3480\ м \approx 3,5\ км; \qquad (П.6.4)$$

$d_{гр}$ = 0,0I мм

$$L_м = 3\cdot 4\frac{0,58}{0,00079} = 8810\ м \approx 9\ км. \qquad (П.6.5)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

РАСЧЕТ РУСЛОВЫХ ГРЯД

ПРИМЕР. Определить время стабилизации русловых гряд, а также их геометрические размеры при следующих исходных данных: ширина водотока B = 450, глубина H = 3 м, уклон русла i = 0,0001, расход воды $Q_р$ = 450 м^3/с, донный грунт – песок, $d_{гр}$ = 0,25 мм, поперечное сечение русла – прямоугольное.

РЕШЕНИЕ

Рассчитываем динамическую скорость потока:

$$U_{*м} = \sqrt{gHi} = \sqrt{9,81 \cdot 3 \cdot 10^{-4}} = 5,4 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}. \quad (П.7.1)$$

Определяем среднюю скорость потока:

$$U = \frac{Q_р}{BH} = \frac{450}{150 \cdot 3} = 1 \text{ м/с}. \quad (П.7.2)$$

Находим гидравлическую крупность частиц грунта по зависимости (3.4,а):

$$w = 0,1 g d_{гр} = 0,1 \cdot 981 \cdot 0,025 = 2,45 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}. \quad (П.7.3)$$

Вычисляем скорость перемещения русловых гряд по выражению (3.15,а):

$$C_г = 0,02 U \left(\frac{U^2}{gH}\right)^{3/2} = 0,02 \cdot 1 \left(\frac{1^2}{9,81 \cdot 3}\right)^{3/2} = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}. \quad (П.7.4)$$

Рассчитываем время стабилизации русловых гряд по соотношению (3.15):

$$T_с = 5 \cdot 10^2 \frac{H}{C_г} \cdot \frac{w}{U_{*м}} = 5 \cdot 10^2 \frac{3}{1,25 \cdot 10^{-4}} \cdot \frac{2,45 \cdot 10^{-2}}{5,4 \cdot 10^{-2}} = 5,4 \cdot 10^6 \text{ с} = 62,5 \text{ сут}. \quad (П.7.5)$$

Определяем коэффициент гидравлического сопротивления по формуле (3.4,б):

$$\lambda_в = 0,11 \left(\frac{d_{гр}}{4H}\right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,025}{4 \cdot 300}\right)^{0,25} = 7,43 \cdot 10^{-3}. \quad (П.7.6)$$

Находим критическую скорость потока по выражению (3.5):

$$u_{кр} = \frac{0{,}03}{\sqrt{\lambda_з}\left(1 - 1{,}25\sqrt{\lambda_з}\right)} = 3{,}9 \cdot 10^{-1}\ м/с. \qquad (П.7.7)$$

Вычисляем величину критического касательного напряжения:

$$\frac{\tau_{кр}}{\rho} = \lambda_з \frac{u_{кр}^2}{8} = 1{,}13 \cdot 10^{-3}\ м^2/с^2. \qquad (П.7.8)$$

Рассчитываем величину касательного напряжения потока:

$$\frac{\tau}{\rho} = u_{*м}^2 = (3{,}4 \cdot 10^{-2}) = 2{,}92 \cdot 10^{-3}\ м^2/с^2. \qquad (П.7.9)$$

Определяем высоту русловых гряд по соотношению (3.16):

$$h_г = \frac{H}{6}\left(1 - \frac{\tau_{кр}}{\tau}\right) = \frac{3}{6}\left(1 - \frac{1{,}13 \cdot 10^{-3}}{2{,}92 \cdot 10^{-3}}\right) = 0{,}31\ м. \qquad (П.7.10)$$

Находим длину русловых гряд по выражению (3.17):

$$L_г = 25 h_г = 25 \cdot 0{,}31 = 7{,}65\ м. \qquad (П.7.11)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ОТЛОЖЕНИЙ, НАКАПЛИВАЮЩИХСЯ В РЕЧНОМ РУСЛЕ

ПРИМЕР. Водоток длиной 300 км с шириной русла B = 100, средней глубиной H = 3 м и среднемноголетним расходом воды $Q_р$ = 90 м^3/с. Водосборная площадь F = 10000 км^2, в том числе суммарная площадь городов и крупных населенных пунктов составляет 1000 км^2. Объем сбросных вод на 30-км участке водотока, расположенном выше расчетного створа, $Q_с$ = 9 м^3/с, загрязненность не превышает ПДК. Водоток находится в центральной части Европейской территории СССР. При помощи балансовых расчетов следует найти среднюю толщину слоя отложений за 5 лет.

РЕШЕНИЕ

Весовое количество наносов можно определить как баланс между наносами, поступающими в водоток с водосборной площади и с территории населенных пунктов и удаляемыми в результате выноса,

$$W_{нан} = W_{вод.сбор} + W_{гор} + W_{сбр} - W_{удал} . \qquad (П.8.1)$$

Найдем первое слагаемое в (П.8.1). Модуль стока взвешенных наносов (второй эрозионный район Европейской территории СССР) примем по работе [6]:

$$M_S = 2,1 \frac{т}{км^2/год} . \qquad (П.8.2)$$

Площадь водосборного района без учета территории населенных пунктов составляет

$$F_1 = 10000\ км^2 - 1000\ км^2 = 9000\ км^2 . \qquad (П.8.3)$$

Тогда

$$W_{вод.сбор} = M_S \cdot F_1 = 2,1 \cdot 9000 = 729000\ т/год . \qquad (П.8.4)$$

Определим количество наносов, поступающих в водоток с территории городов и крупных населенных пунктов, т.е. второе сла-

гаемое в формуле (П.8.I). Модуль поверхностного стока и его мутность примем согласно работе [7] :

$$M = 0{,}02\ м^3/с \cdot км^2; \quad \rho = 1\ кг/м^3.$$

Тогда

$$W_{гор} = M \cdot \rho \cdot F_{гор} = 0{,}02 \cdot 1 \cdot 1000 = 20\ кг/с = \quad (П.8.5)$$
$$= 630720\ т/год.$$

Количество наносов, поступающих в водоток со сбросными водами, загрязненность которых не превышает ПДК, незначительно и в данном примере не учитывается.

Определим количество удаляемых из водотока наносов:

$$u = \frac{Q}{B \cdot H} = \frac{90}{100 \cdot 3} = 0{,}3\ м/с. \quad (П.8.6)$$

По формуле (4.3)

$$\rho = 28\left(\frac{0{,}3^2}{9{,}81 \cdot 3}\right)^{0{,}85} = 0{,}204\ кг/м^3 = 0{,}000204\ т/м^3; \quad (П.8.7)$$

$$W_{удл} = \rho \cdot B \cdot H \cdot L = 0{,}000204 \cdot 100 \cdot 3 \cdot 300000 = \quad (П.8.8)$$
$$= 18360\ т/год.$$

По формуле (П.8.I) находим баланс наносов:

$$W_{нан} = 72900 + 630720 - 18360 = 685260\ т/год. \quad (П.8.9)$$

Удельная величина наносов

$$\frac{W_{нан}}{F_2} = \frac{685260}{300000 \cdot 100} = 22{,}8\ кг/м^2 \cdot год. \quad (П.8.I0)$$

Средняя толщина слоя отложений определяется по формуле

$$h_g = \frac{W_{нан}}{F_2 \cdot \rho \cdot \varepsilon}, \quad (П.8,II)$$

где $\varepsilon = 0{,}5$ – коэффициент пористости наносов.

$$h_g = \frac{22{,}8}{2650 \cdot 0{,}5} = 0{,}017\ м/год. \quad (П.8.I2)$$

Следовательно, за 5 лет толщина слоя отложения составит около 9 см.

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ РУСЛА ПРИ ЕГО ОЧИСТКЕ

ПРИМЕР. Определить размеры поперечного сечения русла при очистке. Водоток шириной $B_р$ = 150 м и уклоном i = 0,0005 имеет слой загрязненных отложений толщиной $h_д$ = 40 см. Донные отложения связные, сцепление на сдвиг составляет 0,05 кг/см^2. Коэффициент шероховатости очищенного русла $n_м$ = 0,025. Расчетный паводковый расход 20%-ной обеспеченности $Q_р$ = 750 м^3/с.

Поперечное сечение водотока в заиленном состоянии приведено на рис. П.9.1.

РЕШЕНИЕ

Расчет производится аналогично примеру приложения 5. Однако размеры поперечного сечения русла на очищаемых участках определяются так, чтобы в паводок 20%-ной обеспеченности по всей ширине русла произошел размыв донных отложений толщиной $h_д$.

Используем формулу (4.1):

$$h_д = J_0 T_п \left(\frac{U_р}{U_{кр}}\right)^3 \left(\frac{U_р}{U_{кр}} - 1\right), \qquad (П.9.1)$$

где J_0 = 1 см/сут = 0,01 м/с;

$T_п$ = 10 сут;

$U_р$ – расчетная скорость течения, обеспечивающая размыв донных отложений.

Значения $U_р$ следует вычислять по каждому участку для определенного створа. Задаваясь рядом значений $U_р$, устанавливаем соответствующие им значения $h_д$ (табл. П.9.1). Строим график $h_д = f(U_р)$ и по нему находим для заданного $h_д$ = 0,4 м величину расчетной скорости течения $U_р$ (рис. П.9.2).

Необходимая глубина русла на вертикалях определяется по формуле (4.2):

$$h \geq \frac{(U_р n_м)^{3/2}}{i^{3/4}}. \qquad (П.9.2)$$

Ширина русла после его расчистки и реконструкции не должна

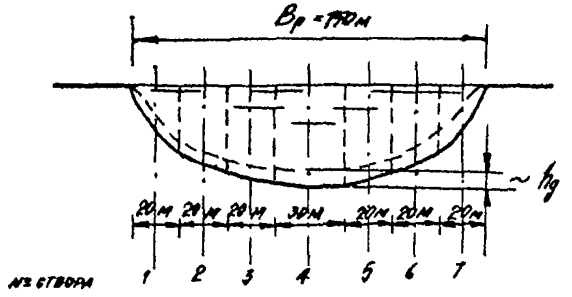


Рис.П.9.I. Поперечное сечение водотока.

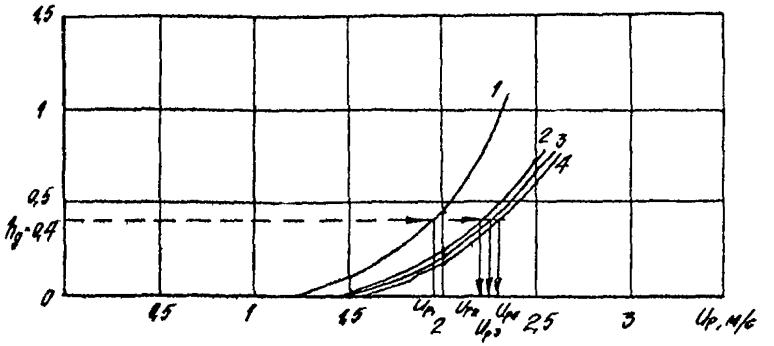


Рис.П.9.2. График $h_g = f(U_р)$:
I - створы I и 7; 2 - створы 2 и 6; 3 - створы 3 и 5;
4 - створ 4.

Таблица П.9.I

РАСЧЕТ ДЛЯ $i = 0{,}0005$

№ створа	$u_{кр}$, м/с	$u_р$, м/с	h_g, м
I	I,II	0,5	-0,005
		I	-0,007
		I,5	0,087
		2	0,468
по графику рис. П.9.2		I,94	0,4
2	I,27	I	-0,0I
		I,5	0,03
		2	0,224
		2,5	0,738
по графику рис. П.9.2		2,22	0,4
3	I,29	I	-0,0I
		I,5	0,026
		2	0,205
		2,5	0,682
по графику рис. П.9.2		2,26	0,4
4	I,32	I	-0,II
		I,5	0,02
		2	0,I79
		2,5	0,607
по графику рис. П.9.2		2,3I	0,4

Таблица П.9.2

РАСЧЕТ ДЛЯ $i = 0{,}0005$, $n_м = 0{,}025$, $d_{гр} = 0{,}004$ м

№ створа	$R_м$, м	$u_{ж.м}$, м/с	$C_м$, $м^{1/2}/с$	λ	$u_м$, м/с	$C_б$, $кг/см^2$	λ_S	$u_{кр}$, м/с	$u_р$, м/с	h, м	$u_р h B$, $м^3/с$	B
I	I	0,07	40	0,049	0,894	0,05	0,0196	I,II	I,94	3,I9	I23,772	> в I,66 раза
2	3	0,I2I	48,06	0,034	I,856		0,0I49	I,27	2,22	3,9I	I73,604	
3	3,4	0,I29	49,07	0,033	2,0I		0,0I44	I,29	2,26	4,02	I8I,704	
4	4	0,I4	50,42	0,03I	2,25		0,0I38	I,32	2,3I	4,I5	287,595	
5	3,4	0,I29	49,07	0,033	2,0I		0,0I44	I,29	2,26	4,02	I8I,704	
6	3	0,I2I	48,06	0,034	I,856		0,0I49	I,27	2,22	3,9I	I73,604	
7	I	0,07	40	0,049	0,894		0,0I96	I,II	I,94	3,I9	I23,772	
											Σ = I245,755	

Примечание. Определение значений $u_р$ см. в табл. П.9.I.

превышать

$$B < B_p = \frac{\sum_{i=1}^{N} u_i \cdot h_i \cdot b_i}{Q_p} \cdot \qquad (П.9.3)$$

Результаты приведены в табл. П.9.2.

Расчеты показали, что для данных условий полного размыва донных отложений в паводок происходить не будет. Для этого следует углубить русло или предусмотреть его сужение, т.е. уменьшить ширину русла в I,66 раз.

В реальных условиях результаты расчета должны быть проверены экспериментально.

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

РАСЧЕТ ВЫСОТЫ РАЗДЕЛЬНОЙ ЗАТАПЛИВАЕМОЙ СТЕНКИ

ПРИМЕР. Определить высоту раздельной затапливаемой стенки при следующих условиях. Водоток с уклоном $i = 0{,}0001$ транспортирует в паводок частицы крупностью $d_{гр} = 0{,}2$ мм. Глубина водотока в месте установки стенки (при расчетном паводковом расходе) $h_м = 4$, глубина зимней межени 95%-ной обеспеченности $h_з = 2$ м, коэффициент шероховатости русла по Маннингу $n_м = 0{,}025$. Глубина потока в паводок на расширение русла, отгораживаемом стенкой $h_0 = 2{,}5$ м.

РЕШЕНИЕ

По зависимости (4.6) определяем объемную донную концентрацию взвешенных наносов:

$$S_g = 3 \cdot 10^3 \frac{\lambda^4}{1 + \frac{w}{u_{*м}}}, \qquad (П.10.1)$$

где

$$\lambda = \frac{g_g}{C_м^2} = \frac{g_g n_м^2}{h_м^{1/3}} = \frac{1 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}025^2}{4^{1/3}} = 0{,}0316; \qquad (П.10.2)$$

$$u_{*м} = \sqrt{g h_м i} = \sqrt{980 \cdot 400 \cdot 10^{-4}} = 6{,}3 \text{ см/с}. \qquad (П.10.3)$$

Гидравлическую крупность частиц взвеси w определяем по справочным данным [2] для частиц $d_{гр} = 0{,}2$ мм, $w = 1{,}88$ см/с.

Тогда

$$S_g = 3 \cdot 10^3 \cdot 0{,}0316^4 / 1 + \frac{1{,}88}{6{,}3} = 0{,}0026 \text{ кг/л}. \qquad (П.10.4)$$

При объемной концентрации $S_g = 0{,}0026$ донная весовая концентрация потока в основном русле составит $S_g = 6{,}9$ кг/м^3.

По зависимости (4.5) при $z = h_{ст}$ определяем расчетную высоту раздельной стенки $h_{ст}$:

$$\frac{S}{S_g} = \left[\frac{a/h_м (1 - h_{ст}/h_м)}{h_{ст}/h_м (1 - a/h_м)} \right]^{\beta}, \qquad (П.10.5)$$

где $a/h_м = 0{,}05$.

Находим показатель степени:

$$\beta = 2{,}5\frac{w}{u_{*м}} = 2{,}5\frac{1{,}88}{6{,}3} = 0{,}75. \qquad (П.10.6)$$

Расчетную высоту стенки определяем таким образом, чтобы мутность потока, переливающегося через стенку, составляла 0,I S_g, т.е. $S/S_g = 0{,}1$.

Тогда

$$0{,}1 = \frac{0{,}05\left(1-\frac{h_{ст}}{h_м}\right)}{\frac{h_{ст}}{h_м}(1-0{,}05)}. \qquad (П.10.7)$$

Отсюда $h_{ст}/h_м = 0{,}35$; $h_{ст} = 0{,}35 \cdot h_м = 0{,}35 \cdot 4 = 1{,}4$ м. (П.10.8)

При данной расчетной высоте гребень раздельной стенки на 0,6 м ниже уровня зимней межени 95%-ной обеспеченности, что исключает повреждение стенки при ледоходе.

По условию (4.3) произведем проверку транспортирующей способности потока на отгороженной части русла:

$$S_{см} = 28\left(\frac{u_0}{gh_0}\right)^{0{,}85}, \qquad (П.10.9)$$

где u_0 – скорость течения на отгороженном участке русла, вычисляется по зависимости

$$u_0 = \frac{1}{n_м} h_0^{2/3} \cdot i^{1/2} = \frac{1}{0{,}025} \cdot 25^{2/3}(10^{-4})^{1/2} = 0{,}73 м. \qquad (П.10.10)$$

Тогда

$$S_{см} = 28\left(\frac{0{,}73^2}{9{,}8 \cdot 2{,}5}\right)^{0{,}85} = 1{,}08 кг/м^3. \qquad (П.10.11)$$

Поскольку высота раздельной стенки принята из условия $S/S_g = 0{,}1$, то весовая концентрация взвеси в потоке, переливающемся через стенку, равна

$$S_0 = 0{,}1 S_g = 0{,}1 \cdot 6{,}9 кг/м^3 = 0{,}69 кг/м^3. \qquad (П.10.12)$$

Таким образом, транспортирующая способность потока на отгороженной части русла достаточна ($S_{см} > S_0$) для перемещения

взвесей, поступающих в эту часть с потоком, переливающимся через стенку.

В случае, когда $\rho_{см} < \rho_0$, необходимо предусмотреть углубление отгороженной части русла.

Результаты расчетов следует проверить экспериментально на гидравлической модели.

ПРИЛОЖЕНИЕ II

РАСЧЕТ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ РУСЛА ПРИ ЕГО БЛАГОУСТРОЙСТВЕ В СВЯЗИ С ОЧИСТКОЙ ОТ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

ПРИМЕР. Определить размеры поперечного сечения русла при следующих данных: ширина основного русла B = 150 м, уклон водотока i = 0,0001 , паводковый расход 2%-ной обеспеченности Q_p = 2000 м^3/с. Коэффициент шероховатости основного русла после его очистки $n_м$ = 0,025 , средняя глубина основного русла при меженном расходе H = 3 м. Проектное очертание русла приведено на рис. П.II.I.

РЕШЕНИЕ

Задачу решаем графоаналитическим способом - построением функции $Q = f(h)$. Задаваясь произвольно значениями глубин h_i , h_{i+1} , ... , h_n , определяем расходы Q_i , Q_{i+1} , ... , Q_n по формуле

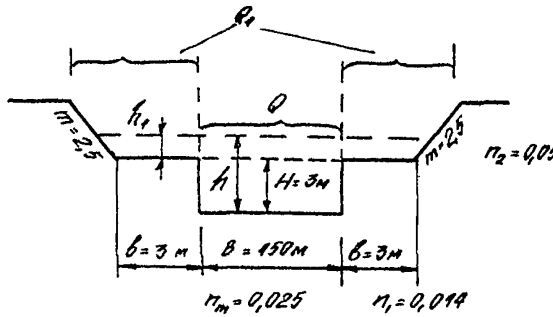
$$Q = K\sqrt{i}. \qquad (П.II.I)$$

Так как канал в поперечном сечении (в паводок) имеет сложный полигональный профиль, то для получения правильного результата поперечное сечение следует разделить на несколько частей, для которых соблюдается условие непрерывности возрастания $K = f(h)$ [2] и расход можно определить по формуле

$$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 = Q_p. \qquad (П.II.2)$$

Для расчета дополнительно принимаем ширину пешеходной дорожки b_1 = 3 м; коэффициент заложения надводного откоса m = 2,5 [2]; коэффициент шероховатости пешеходной дорожки, выполненной облицовкой из асфальтовых материалов n_1 = 0,014 [2] ; коэффициент шероховатости плотного травяного покрова на надводном откосе n_2 = 0,05 [8] ; "приведенный" коэффициент шероховатости для надводного участка (так как русло в паводок неоднородно)

$$n = \frac{n_1\chi_1 + n_2\chi_2}{\chi_1 + \chi_2}. \qquad (П.II.3)$$



$i = 0,0001$;
$B_0 = b + b = 6м$.

Рис.П.II.I. Проектное очертание русла.

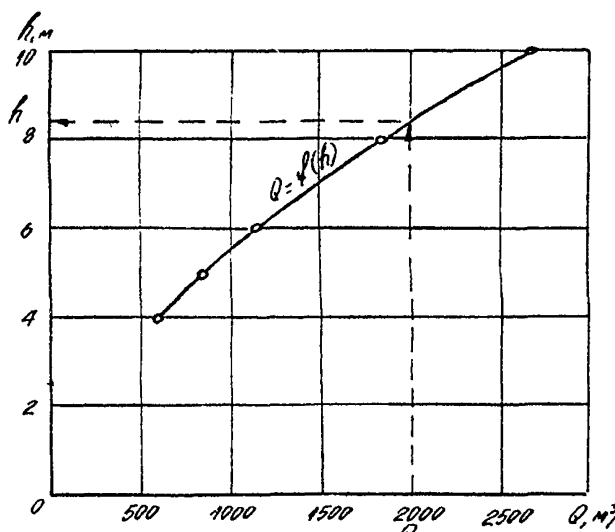


Рис.П.II.2. График $Q = f(h)$.

Расчеты приведены в табл. П.II.I . По табличным данным строится график $Q = f(h)$ (рис. П.II.2) и для заданного паводкового расхода Q_p = 2000 м^3/с находится значение h_p = 8,4 м. Проверочный расчет показывает, что наполнение русла в паводок действительно составляет $h_p \simeq$ 8,45 м.

№ пп.	h_1, м	h_{11}, м	ω, м²	ω_1, м²	χ, м	χ_1, м	χ_2, м	n	R, м
I	4	I	600	8,5	I58	6	5,385	0,0273	3,8
2	5	2	750	22	I60	6	I0,77	0,0346	4,69
3	6	3	900	40,5	I62	6	I6,I55	0,0384	5;56
4	8	5	I200	92,5	I66	6	26,925	0,0422	7,23
5	I0	7	I500	I64,5	I70	6	37,695	0,044I	8,82
Проверочный расчет									
6	8,5	5,5	I275	I08,63	I67	6	29,62	0,043	7',63
7	8,4	5,4	I260	I05,3	I66,8	6	29,08	0,043	7,55

Примечание. $h_1 = h - H$. $\omega = Bh$. $\omega_1 = (B_0 + mh_1)h_1$.

$R = \frac{\omega}{\chi}$. $R_1 = \frac{\omega_1}{\chi_1 + \chi_2}$. $C = \frac{1}{n_м} \cdot R^{1/6}$. $C_1 = \frac{1}{n_м} \cdot R_1^{1/6}$.

Таблица II.II.I

i = 0,0001

R_1, м	C, $м^{1/2}/с$	C_1, $м^{1/2}/с$	K, $м^3/с$	K_1, $м^3/с$	Q, $м^3/с$	Q_1, $м^3/с$	ΣQ, $м^3/с$
0,75	49,99	34,91	58469,06	256,98	584,69	2,57	587,26
1,31	51,78	30,23	84102,66	761,2	841,03	7,61	848,64
1,83	53,27	28,81	113047,9	1578,42	1130,48	15,78	1146,26
2,81	55,66	28,15	179221,7	4364,89	1792,22	43,65	1835,87
3,76	57,54	38,3	256327,6	9027,86	2563,28	90,27	2653,55
3,05	56,16	28,02	197787,8	5316,8	1977,87	53,16	2031
3	56,06	27,94	194087,3	5095,84	1940,87	50,96	1991,83

$\chi = B+2h$. $\chi_1 = B_0$. $\chi_2 = (2h_1\sqrt{1+m^2})$. $n = \frac{n_1\chi_1 + n_2\chi_2}{\chi_1 + \chi_2}$.

$K = wC\sqrt{R}$. $K_1 = w_1C_1\sqrt{R_1}$. $Q = K\sqrt{i}$. $Q_1 = K_1\sqrt{i}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ I2

РАСЧЕТ УСТАНОВКИ ДЛЯ СТРУЙНОГО ВЗМУЧИВАНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

ПРИМЕР. Определить характеристики установки для струйного взмучивания донных отложений и подобрать соответствующее оборудование при следующих данных: крупность наносов $d_{гр}$ = 0,92 мм, толщина слоя отложений h_g = 0,5 , ширина заиленных прибрежных зон $b_з$ = 35 м, диаметр струеобразующего насадка d_0 = 5 см, расстояние от насадка до поверхности грунта L = I м.

РЕШЕНИЕ

Вычисляем необходимую скорость истечения струи для размыва слоя отложений толщиной h_g = 0,5 м по формуле (5.2):

$$\frac{u_0^2}{g d_{гр}} = \sqrt{\frac{L}{d_{гр}}\left[1{,}21\left(\frac{h_g}{4{,}8 d_0}+1\right)\right]^3} = \sqrt{\frac{1}{0{,}0092}\left[1{,}21\left(\frac{0{,}5}{4{,}8\cdot 0{,}05}+1\right)\right]^3}; \quad \text{(П.I2.I)}$$

$$u_0 \approx 3 \text{ м/с}.$$

Принимаем u_0 = 5 м/с (с запасом на преодоление течения реки).

Находим диаметр воронки $D_в$ по формуле (5.I):

$$\frac{D_в}{d_0} = (1+0{,}42\frac{L}{d_0})\sqrt{1+3\frac{u_0}{w_{ст}}\cdot\frac{d_0}{L}}, \quad \text{(П.I2.2)}$$

где $w_{ст}$ - гидравлическая крупность стесненного падения частиц грунта,

$$w_{ст} = 0{,}57\cdot w = 0{,}57\cdot 0{,}148 = 0{,}085 \text{ м/с}, \quad \text{(П.I2.3)}$$

w - табличное значение гидравлической крупности [2];

$$\frac{D_в}{d_0} = (1+0{,}42\frac{1}{0{,}05})\sqrt{1+3\frac{0{,}58}{0{,}085}\cdot\frac{0{,}05}{1}}, \quad \text{(П.I2.4)}$$

$$D_в \approx 1{,}5 \text{ м}.$$

Учитывая необходимость взаимного "наложения" соседних воронок, принимаем $D_в$ = I м.

Находим объем воронки:

$$V_в = \frac{\pi D_в^2}{4} \cdot \frac{1}{3} h_в = \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} \cdot \frac{1}{3} \cdot 0,5 = 0,13 м^3, \quad (П.12.5)$$

где $h_в = h_q$.

Определяем время перемыва грунта в воронке:

$$t_п = 6\left(\frac{h_в}{u_L} + \frac{h_в}{u_{восх}}\right), \quad (П.12.6)$$

где $$u_L = \frac{1}{2}\left(\frac{6 u_0 d_0}{L}\right) = \frac{1}{2}\left(\frac{6 \cdot 5 \cdot 0,05}{1}\right) = 0,75 м/с; \quad (П.12.7)$$

$$u_{восх} = \frac{1}{3} u_L = \frac{1}{3} \cdot 0,75 = 0,25 м/с; \quad (П.12.8)$$

$$t_п = 6\left(\frac{0,5}{0,75} + \frac{0,5}{0,25}\right) = 16 с. \quad (П.12.9)$$

Скорость передвижения взмучивающего устройства в данном случае равна

$$u_{передв} = \frac{D_в}{t_п} = \frac{1}{16} = 0,063 м/с. \quad (П.12.10)$$

Определяем необходимое количество струй, которые при одновременной работе могут обеспечить расход взвеси в потоке, равный 0,1575 т/с (по данным расчета в приложении 13):

$$\frac{q_в t}{V_в} = \frac{0,47 \cdot 16}{0,13} = 58, \quad (П.12.11)$$

где $q_в$ = 0,47 м^3/с – объем грунта (по данным расчета в приложении 13).

Этого количества струй достаточно, чтобы охватить цели-ком береговую зону $в_з$ = 35 м.

При скорости движения взмучивающих устройств $u_{передв}$ = = 0,063 м/с на очистку 1 км (L_1) русла вдоль каждого берега потребуется

$$\frac{L_1}{u_{передв}} = \frac{1000}{0,063} = 15873 с = 4,5 ч. \quad (П.12.12)$$

Определяем необходимый напор для создания скорости истечения из насадков u_0 = 5 м/с [2] :

$$H_н = \frac{u_0^2}{\varphi^2 2g} = \frac{5^2}{0{,}82^2 \cdot 2 \cdot 9{,}81} = 2 \text{ м вод. ст.} \qquad \text{(П.I2.I3)}$$

Находим мощность насоса, необходимую для питания I0 насадков [2] :

$$N = \frac{\gamma Q H_н}{102\,\eta}, \qquad \text{(П.I2.I4)}$$

где γ – удельный вес воды;
Q – производительность насоса;
$H_н$ – необходимый напор;
η – кпд , принимается равным 0,75.

$$Q = \frac{\pi d_0^2}{4} u_0 \cdot 10 = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}05^2}{4} \cdot 5 \cdot 10 = 0{,}1 \text{ м}^3/\text{с}; \qquad \text{(П.I2.I5)}$$

$$Q = 353 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

$$N = \frac{1000 \cdot 0{,}1 \cdot 2}{102 \cdot 0{,}75} = 2{,}61 \text{ кВт}. \qquad \text{(П.I2.I6)}$$

Данным характеристикам отвечает консольный насос типа К марки 4К-25 [2] .

Для обеспечения расхода Q= 353 м^3/ч необходимо 4 насоса.

Время струйной обработки грунта (время перемыва грунта в воронке) можно определять по формуле (5.7) и по формуле (П.I2.6), из двух полученных величин берется большая.

ПРИЛОЖЕНИЕ I3

РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СТРУЙНЫХ ВЗМУЧИВАЮЩИХ УСТАНОВОК ПРИ ОЧИСТКЕ РУСЛА

ПРИМЕР. Определить производительность струйных взмучивающих установок при промывке водотока от илистых фракций наносов при следующих данных: промывной расход 350 $м^3/с$, ширина водотока B = I50, глубина водотока H = 4, ширина заиленных прибрежных зон $b_з$ = 35, толщина слоя отложений $h_д$ = 0,5 крупность наносов $d_{гр}$ = 0,92 м, содержание илистых фракций в грунте 80%, естественное влагонасыщение отложений E = 0,7.

РЕШЕНИЕ

Определяем скорость потока при промывочном расходе:

$$v = \frac{Q}{BH} = \frac{350}{4 \cdot 150} = 0{,}58 \text{ м/с}. \qquad (\text{П.I3.I})$$

Предельно допустимую мутность речного потока находим по формуле (5.4):

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_т} = 3 \cdot 10^{-2} \left(\frac{v^2}{gH}\right)^{0{,}85}; \qquad (\text{П.I3.2})$$

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_т} = 0{,}000452.$$

Количество взвеси в единице объема водогрунтовой смеси

$$G_1 = \frac{\Delta\rho}{\rho} \cdot 1000 \text{ кг/м}^3 = 0{,}00045 \cdot 10^3 = 0{,}45 \text{ кг/м}^3. \qquad (\text{П.I3.3})$$

Находим количество взвеси, уносимое потоком в секунду,

$$G_1 \cdot Q = 0{,}45 \cdot 350 = 157{,}5 \text{ кг/с} = 0{,}1575 \text{ т/с}. \qquad (\text{П.I3.4})$$

Принимая плотность сухого илистого грунта в естественном состоянии $\rho_{тв}$ = I,4 $т/м^3$), определяем объем грунта, который может транспортироваться потоком,

$$q_т = \frac{0{,}1575}{1{,}4} = 0{,}1125 \text{ м}^3/\text{с}. \qquad (\text{П.I3.5})$$

При объемном естественном водонасыщении грунта $\mathcal{E}$ = 70% и содержании илистых фракций 80% находим объем грунта, кото - рый можно взмучивать с помощью струйных установок, не перег - ружая речной поток и не вызывая его стратификации,

$$q_в = \frac{0,1125}{(1-0,7)\cdot 0,8} = 0,47 \ м^3/с. \qquad (П.I3.6)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ I4

РАСЧЕТ ЗАИЛЕНИЯ ОЧИЩЕННОГО УЧАСТКА РУСЛА

ПРИМЕР. Определить толщину слоя взвеси, осевшей на дно русла на расстоянии $x_1 = 2 \cdot 10^3$ и $x_2 = 5 \cdot 10^3$ м от места ее поступления, при следующих исходных данных: глубина потока $H = 3$ м, уклон $i = 0{,}001$, размер частиц взвеси, поступающей в водоток, $d_{гр} = 5 \cdot 10^{-5}$ м, объемная концентрация взвеси составляет $S_0 = 10^{-3}$ м^3/м^3, продолжительность накопления взвеси в русле $t_з = 1$ год ($31{,}5 \cdot 10^6$ с).

РЕШЕНИЕ

Вычисляем динамическую скорость потока:

$$u_{*м} = \sqrt{gHi} = \sqrt{9{,}81 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} = 1{,}72 \cdot 10^{-1} \text{ м/с}. \qquad (\text{П.I4.1})$$

Определяем гидравлическую крупность частиц взвеси по данным работы [2]:

$$w = 1{,}66 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}. \qquad (\text{П.I4.2})$$

Рассчитываем толщину слоя взвеси, осевшей на дно за время $t_з$, по формуле (7.I) при $z_0 = 0$:

$$z_1 = 2 S_0 w t_з e^{-\frac{w}{u_{*м}} \cdot \frac{x_1}{H}} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-3} \cdot 31{,}5 \cdot 10^6 \times$$
$$\times e^{-\frac{1{,}66 \cdot 10^{-3}}{1{,}72 \cdot 10^{-1}} \cdot \frac{2000}{3}} = 0{,}17 \text{ м}; \qquad (\text{П.I4.3})$$

$$z_2 = 2 S_0 w t_з e^{-\frac{w}{u_{*м}} \cdot \frac{x_2}{H}} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-3} \cdot 31{,}5 \cdot 10^6 \times$$
$$\times e^{-\frac{1{,}66 \cdot 10^{-3}}{1{,}72 \cdot 10^{-1}} \cdot \frac{5000}{3}} = 1{,}1 \cdot 10^{-5} \text{ м}. \qquad (\text{П.I4.4})$$

РАСЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

ПРИМЕР. Рассчитать параметры гидравлической модели деформируемого речного русла для исследования процессов размыва и заиления при следующих данных: расход воды в русле $Q_н$ = 800 м^3/с, ширина $B_н$ = 200, глубина потока $H_н$ = 4 м, размер частиц грунта в водотоке $d_{гр_н}$ = 0,6 мм. По производственным условиям гидравлическая крупность модельного материала, а также размер его частиц известны: $w_м = 3 \cdot 10^{-2}$ м/с, $d_{гр_м}$ = 0,3мм.

РЕШЕНИЕ

Вычисляем гидравлическую крупность частиц грунта речного потока:

$$w_н = 0{,}1 g d_{гр_н} = 0{,}1 \cdot 981 \cdot 0{,}06 = 5{,}9 \cdot 10^{-2}\ м/с. \qquad (П.I5.1)$$

Определяем коэффициент гидравлического сопротивления потока:

$$\lambda_{Sн} = 0{,}11\left(\frac{d_{гр_н}}{4H_н}\right)^{0{,}25} = 0{,}11\left(\frac{6\cdot10^{-4}}{4\cdot4}\right)^{0{,}25} = 8{,}6\cdot10^{-3}. \qquad (П.I5.2)$$

Рассчитываем среднюю скорость потока:

$$u_н = \frac{Q_н}{B_н \cdot H_н} = \frac{800}{200\cdot4} = 1\ м/с. \qquad (П.I5.3)$$

Вычисляем коэффициент гидравлического сопротивления для модельного потока. Исходя из условий размещения модели в лаборатории и удобства выполнения измерений, примем глубину потока $H_м$ = 0,I м:

$$\lambda_{Sм} = 0{,}11\left(\frac{d_{гр_м}}{4H_м}\right)^{0{,}25} = 0{,}11\left(\frac{3\cdot10^{-4}}{4\cdot10^{-1}}\right)^{0{,}25} = 1{,}8\cdot10^{-2}. \qquad (П.I5.4)$$

Находим среднюю скорость модельного потока:

$$u_{*м} = u_н \frac{w_н}{w_м}\sqrt{\frac{\lambda_{Sн}}{\lambda_{Sм}}} = 1\cdot\frac{5{,}9\cdot10^{-2}}{3\cdot10^{-2}}\sqrt{\frac{8{,}6\cdot10^{-3}}{1{,}8\cdot10^{-2}}} = 1{,}36\ м/с. \qquad (П.I5.5)$$

Установленные параметры гидравлической модели проверяем по условию турбулентности течения

$$\frac{u_м H_м}{\nu} = \frac{1{,}36\cdot0{,}1}{1\cdot10^{-6}} = 1{,}36\cdot10^{5} > 580. \qquad (П.I5.8)$$

Таким образом, режим течения на гидравлической модели турбулентный.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. М.: 1975, 39 с.
2. Справочник по гидравлическим расчетам /Под ред. П.Г.Киселева. М.: Энергия, 1972, 312 с.
3. Цытович Н.А. Механика грунтов. М.: Высшая школа, 1979, 270 с.
4. Шеренков И.А. Прикладные плановые задачи гидравлики спокойных потоков. М.: Энергия, 1978, 240 с.
5. В.М.Лятхер, А.М.Прудовский. Гидравлическое моделирование. М.: Энергоатомиздат, 1984, 390 с.
6. Указания по расчету стока наносов. ВСН 01-73. Л.: Гидрометеоиздат, 1974, 32 с.
7. Молоков М.В., Шифрин В.Н. Очистка поверхностного стока с территории городов и промышленных площадок. М.: Стройиздат, 1977, 104 с.
8. Примеры расчетов по гидравлике /Под ред. А.Д.Альтшуля. М.: Стройиздат, 1976, 255 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение. Причины прогрессирующего загрязнения и заиления речных русел..... 3
1. Общие положения..... 5
2. Критерии необходимости очистки русла от загрязненных донных отложений..... 6
3. Исходные данные и инженерные изыскания при проектировании очистки русла..... 8
4. Принципы проектирования очертаний очищенного русла и его благоустройства..... 14
5. Технологические схемы очистки русла..... 19
6. Водоохранные мероприятия при производстве работ по очистке русла..... 24
7. Мероприятия по предотвращению повторного загрязнения очищенных участков..... 25
8. Основы гидравлического моделирования руслового процесса при проектировании очистки русла..... 27
Приложения..... 29

НС-32138. Подписано к печати 27.05.86г. Заказ-552. Тираж- 127 экз.
Уч.изд.л.-4 Усл.-печ.л. 4.4. Формат бумаги 60х84/16. Цена- 25 коп.

ЛОП Уральского УГКС г.Свердловск, ул.Н-Воли,64

gost.e-ecolog.ru